

2018

# CONVERGENCIAS DE PARADIGMA DE COMPLEJIDAD Y DESARROLLOS TECNOLÓGICOS EN TEORÍAS DE DISEÑO COMPUTACIONAL EN ARQUITECTURA

ÁLVAREZ LORCA, NATALIA DENISSE

---

<https://hdl.handle.net/11673/47044>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*



**Convergencias de Paradigma de Complejidad  
y Desarrollos Tecnológicos en Teorías de  
Diseño Computacional en Arquitectura**



Constellation - by W.P. Andrews



# **Convergencias de Paradigma de Complejidad y Desarrollos Tecnológicos en Teorías de Diseño Computacional en Arquitectura.**

**Natalia Álvarez Lorca**  
Estudiante

**Marcelo Bernal**  
Profesor Referente

**Katherine Cáceres**  
Profesora Co-Referente  
Modalidad Tesis

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mis profesores Marcelo Bernal y Katherine Cáceres por lo enseñado, la confianza y el apoyo durante todo el proceso no solo el proceso de título, sino también durante los años de carrera.

A mi team, Felipe Vergara y Cecilia Hormazábal por la entrega, el apoyo y la ayuda incondicional.

A mi familia por el apoyo incondicional y la paciencia durante los años de carrera. y a Nicolás Massú porque, “Nada es imposible...”

DEDICATORIA

DEDICATORIA

DEDICATORIA

DEDICATORIA

DEDICATORIA

DEDICATORIA

DEDICATORIA

DEDICATORIA

Dedicado a todos quienes aman la Arquitectura Digital.

*“No hay razón para no probar algo nuevo solo porque nadie lo haya intentado antes”.*

Antonio Gaudí

RESUMEN  
RESUMEN  
RESUMEN  
RESUMEN  
RESUMEN  
RESUMEN  
RESUMEN  
RESUMEN

*Esta tesis de investigación se centra en las teorías de Diseño Computacional, las cuales emergen a partir del paralelismo entre el Paradigma de Complejidad y los Desarrollos Tecnológicos, específicamente la evolución del CAD. Estas teorías han permitido el desarrollo material, tecnológico y teórico en un acotado período de tiempo comprendido entre la década del 70 hasta hoy, buscando optimizar la resolución de problemas de índole arquitectónico a través de la generación, análisis, selección y fabricación. Específicamente, esta investigación construye una mirada al estado actual de las Teorías de Diseño Computacional (TDC) y una posible interpretación de los avances tecnológicos y exploraciones, teóricas y de diseño a futuro.*

*El objetivo de esta tesis es estudiar el Paradigma de Complejidad, comprender sus partes y conceptos más importantes, paralelamente entender el proceso de los Desarrollos Tecnológicos, a modo de extraer lo emergente correspondiente a las bases de las Teorías de Diseño Computacional y proyectar dicho progreso a su estado actual. La búsqueda se realiza a través de una revisión profunda de la literatura, filosófica, tecnológica y teórica organizando cronológicamente la información, para luego realizar lecturas cruzadas entre: el Paradigma de Complejidad, los Desarrollos Tecnológicos, las Aplicaciones en Arquitectura y la Academia (conferencias CAD), con el fin de encontrar las convergencias que dan origen a la construcción teórica del Diseño Computacional.*

*Finalmente, esta investigación presenta en primera instancia las emergencias encontradas a partir de la convergencia entre las disciplinas que conforman las bases teóricas del Diseño Computacional, para luego exponer de los canales de desarrollo actual de la escena computacional, en cuanto a generación, análisis, selección y producción.*

ABSTRACT

ABSTRACT

ABSTRACT

ABSTRACT

ABSTRACT

ABSTRACT

ABSTRACT

ABSTRACT

*This research thesis focuses on the theories of Computational Design, which emerge from the parallelism between Complexity Paradigm and Technological Developments, specifically the evolution of CAD System. These theories have allowed the material, technological and theoretical development in a short period of time.*

*The theories seek to optimize the resolution of problems in architecture through generation, analysis, selection and manufacturing. Specifically, it constructs a look at the current state of the Theories of Computational Design (TCD) and a possible interpretation of the technological advances and future theoretical and design explorations contemplated by the theories of Computational Design.*

*The objective of this thesis is to study the Complexity Paradigm, to understand its most important parts and concepts. In parallel to understand the process of Technological Developments, to extract what emerges. This corresponds to the bases of the Theories of Computational Design and project that progress to its current state.*

*The search is made through a thorough review of the literature, philosophical, technological and theoretical. Then the information is organized chronologically, to then cross-read between: the Complexity Paradigm, the Technological Developments, the Applications in Architecture and the Academy (CAD conferences). This is done in order to find the convergences that give rise to the theoretical construction of Computational Design.*

*Finally, this research presents in the first instance the emergencies found from the convergence between the disciplines that make up the theoretical bases of Computational Design. And then it exposes the current development channels of the computational scene, in terms of generation, analysis, selection and production.*

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

**Agenciamiento:** Es una multiplicidad que comporta muchos géneros heterogéneos y que establece uniones, relaciones entre ellos, a través de edades, de sexos y de reinos de diferentes naturalezas.

**Agentes:** Entidad que toma decisiones dependiendo del estado de su entorno.

**Algoritmos Genéticos (GA):** técnica de búsqueda que resuelve problemas de optimización. La estructura de GA es igual que el algoritmo de evolución.

**AR:** Augmented Reality. Realidad aumentada.

**BIM:** Teoría de diseño computacional que consiste en el proceso de generar y administrar información de construcción de manera interoperable y reutilizable.

**CAAD:** Computer Aided Architectural Design. Diseño arquitectónico asistido por computadora.

**CAD:** Computer Aided Design. Diseño asistido por computadora.

**CAM:** Computer Aided Manufacturing. CAM toma información de un diseño generado por computadora, o dibujo CAD, para crear instrucciones que controlen los movimientos de una herramienta automatizada.

**Caos:** Se refiere a la incertidumbre e impredecible y se caracteriza por la inestabilidad dinámica.

---

**Convergencia:** característica de dos o más elementos que confluyen en un cierto lugar o estado.

**DAC:** Design Automated by Computer. Diseño automatizado por computadora.

**Desterritorialización:** Se refiere a la pérdida de territorio, pugnas de poder; en la que se condena a vivir en sitios indiferenciados, donde se rompe toda relación con la historia y la memoria de los lugares, en el cual existe una amnesia territorial, que puede significar extrañeza y desculturización. En donde existe una línea de fuga del territorio.

**Diagrama:** Produce organización y describe relaciones, trabajan como máquinas abstractas y no suelen parecerse a lo que producen.

**Emergencia:** Proceso de aparición de estructuras nuevas a partir de reglas simples.

**Espacio de Diseño:** es la estructura de red de diseños relacionados que se visitan en un proceso de exploración.

**Estrato:** Conjunto de elementos que con determinados caracteres comunes se ha integrado en otros conjuntos para formar una entidad.

**Evolución:** Cambio o transformación gradual de algo.

**Fabricación Digital:** Tipo de proceso de fabricación en el que la máquina utilizada es controlada por computadora

**Fractal:** Modelo matemático que describe y estudia objetos y fenómenos frecuentes en la naturaleza que no se pueden explicar por las teorías clásicas y que se obtienen mediante simulaciones del proceso que los crea.

**Generative Design:** Los modelos generativos permiten a los diseñadores evaluar y

reflexionar sobre su diseño como una forma de análisis o evaluación informal.

**Inmanencia:** Que es interno a un ser o a un conjunto de seres y no es el resultado de una acción exterior a ellos.

**Input:** Combinaciones generales como entradas a un modelo de análisis.

**Intensidad:** Todo se manifiesta en el todo, pero en distintos grados.

**Instancia:** Se llama instancia a todo objeto que derive de algún otro. De esta forma, todos los objetos son instancias de algún otro.

**IoT:** Internet of Things.

**Iteración:** Acto de repetir un proceso con la intención de alcanzar una meta deseada, objetivo o resultado.

**Case Based Reasoning:** Teoría de diseño de carácter generativo que reutiliza y adapta soluciones anteriores para la resolución problemas nuevos similares.

**Machine Learning:** Teoría de diseño computacional que se define como la disciplina del aprendizaje a partir de datos y observaciones. Combina estadísticas y paradigmas de aprendizaje de la inteligencia artificial.

**Máquina Abstracta:** Corresponde a un conjunto consolidado de materia y función (film y diagrama), actúan en los agenciamientos concretos, no son corpóreas e inmateriales, no necesariamente sirven para lo que fueron creadas, y es de mayor importancia el proceso de la máquina que el resultado final.

**Morfogénesis:** Origen de la forma.

**Multi Criterio:** es un instrumento que se utiliza para evaluar diversas posibles soluciones a un determinado problema, considerando un número variable de criterios, se utiliza para apoyar la toma de decisiones en la selección de la solución más conveniente.

---

**Multiplicidad:** Cualidad de múltiple o la multitud y abundancia excesiva de individuos, especies o hechos.

**Mutación:** Es la alteración o cambio aleatorio ocasional en la información genética, que puede producir un cambio que se presenta de manera súbita.

**Non-Manifold Topology:** Correspondientes a geometrías no desplegadas en una superficie o plano continuo como una unión en T. puede representar el espacio dentro de un objeto y permite la subdivisión de un límite exterior con límites internos de espesor cero.

**Optimización:** Entradas conocidas y controlables que permiten acelerar el proceso de diseño.

**Output:** Resultado de entidades físicas básicas necesarias para calcular los indicadores de performance como salida.

**Paradigma:** Conjunto de prácticas que definen una disciplina científica durante un período específico de tiempo.

**Parametric Analysis:** Teoría de diseño computacional que une el modelado paramétrico con la simulación.

**Parametric Modeling:** Teoría de diseño computacional en donde cada operación es definida por sus parámetros en forma de exposiciones algebraicas. Puede ser codificado gráfica o textualmente y la forma es automáticamente regenerada.

**Patrón:** Tipo de tema de sucesos u objetos recurrentes, también podría definirse como una serie de variables constantes, identificables dentro de un conjunto mayor de datos.

**Performance Based Design:** Es un proceso que encarna complejos problemas de decisión multicriterio pasando los límites de la cognición humana.

**Performance:** Rendimiento.

**Potencial:** Referido a lo que no se manifiesta o no existe, pero tiene la posibilidad de manifestarse o de existir en un futuro.

**Protocolo:** Sistema de reglas.

**Rizoma:** Concepto filosófico proveniente de la analogía con las raíces de un tubérculo que postula: cualquier punto puede ser conectado con otro y debe serlo, puede ser roto pero siempre recomienza y tiene múltiples entradas. Es la complejidad en sí mismo.

**Shape Grammar:** Teoría de diseño computacional de carácter generativo que permite generar diferentes tipos de diseño basados en un conjunto de reglas.

**Singularidad:** Cualidad o detalle que distingue a una cosa de otras de la misma clase o especie.

**Sistemas Complejos:** interacciones no lineales entre agentes de características simples que llevan a sistemas caóticos no predecibles, lo importante es que de esta interacción emerge una conducta evolutiva.

**Sistemas Dinámicos:** Se refieren a muchos sistemas que existen en la naturaleza cuyo comportamiento va cambiando con el transcurrir del tiempo.

**Teoría de Diseño Computacional:** Se centra en cómo las tecnologías digitales afectan el proceso de diseño, la producción y las formas y productos resultantes. Trabajan para repensar la relación entre la descripción formal, la construcción sistemática, el análisis del rendimiento y la producción industrial. El diseño computacional se explora

---

como un medio para capturar y codificar estas dimensiones discretas de diseño en un proyecto sintético de diseño de edificios, ingeniería, fabricación y habitación

**Variación:** Cambio o alteración que hace que algo o alguien sea diferente, en algún aspecto, de lo que antes era.

**VR:** Virtual Reality. Realidad virtual.



INDICE

INDICE

INDICE

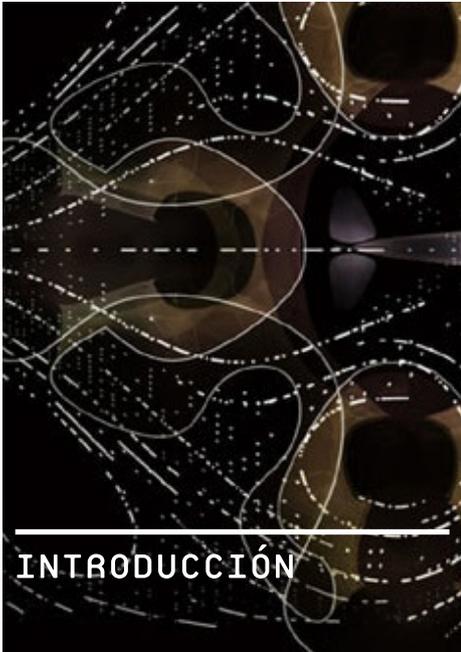
INDICE

INDICE

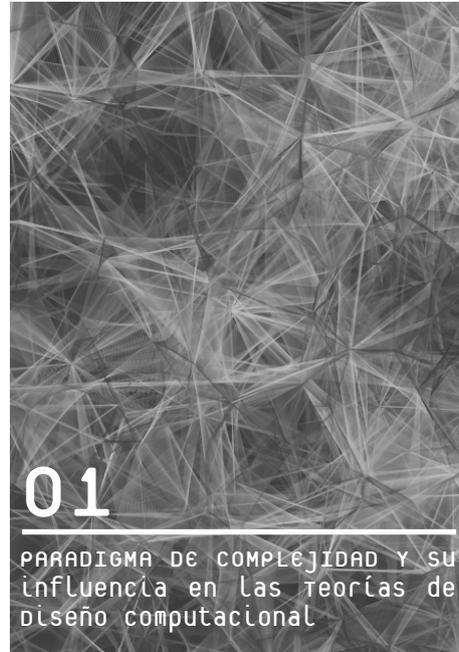
INDICE

INDICE

INDICE

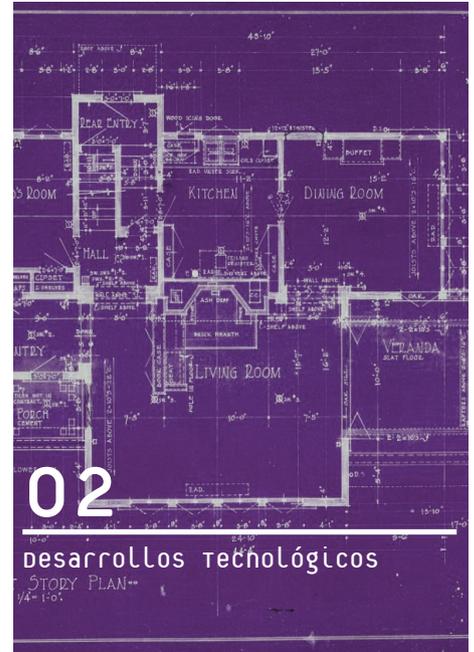


**INTRODUCCIÓN**



**01**

**PARADIGMA DE COMPLEJIDAD Y SU INFLUENCIA EN LAS TEORÍAS DE DISEÑO COMPUTACIONAL**



**02**

**desarrollos tecnológicos**

Agradecimientos . . . . . 05  
 Dedicatoria . . . . . 07  
 Resumen . . . . . 09  
 Abstract . . . . . 11  
 Glosario . . . . . 13  
 Introducción . . . . . 25

1. 1. Introducción a la Complejidad . . . . . 37  
 1. 2. Teoría De Los Conjuntos Borrosos . . . . . 40  
 1. 3. Teoría del Caos . . . . . 44  
 1. 4. Teoría Catastrófica . . . . . 48  
 1. 5. Teoría de los Fractales . . . . . 53  
 1. 6. Relecturas: Conceptos Deleuzianos como base  
 teórica de las Teorías de Diseño Computacional . . . . . 58  
 1. 7. Discusión . . . . . 63

2. 1. Geometric Representation . . . . . 69  
 2. 2. Evolución del CAD . . . . . 75  
 2. 3. Evolución del CAM: Un Encuentro con  
 las Tecnologías CAD . . . . . 79  
 2. 4. Discusión . . . . . 82



# 03

Tecnologías CAD en Arquitectura, el proceso de diseño y la Academia

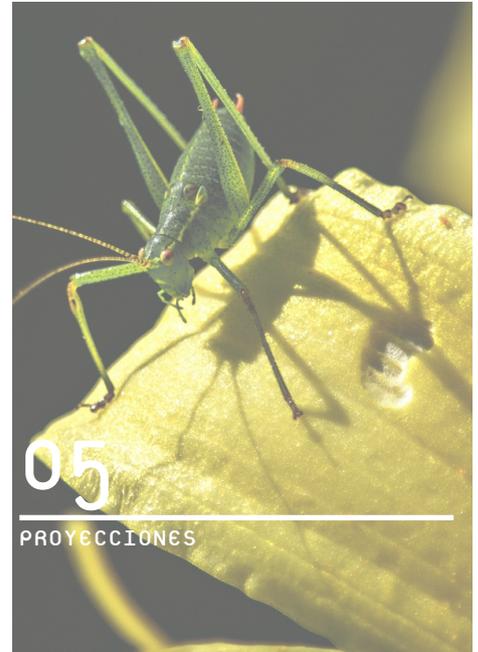
- 3.1. Proceso de Incorporación de Tecnologías CAD en la Arquitectura ..... 90
- 3.2. Planteamiento Digital en la Praxis Arquitectónica ..... 93
- 3.3. Consolidación: Aportes de la Academia en la Escena Teórica ..... 110
- 3.4. Discusión ..... 124



# 04

Teorías de diseño computacional: encuentro entre el paradigma de complejidad y la tecnología.

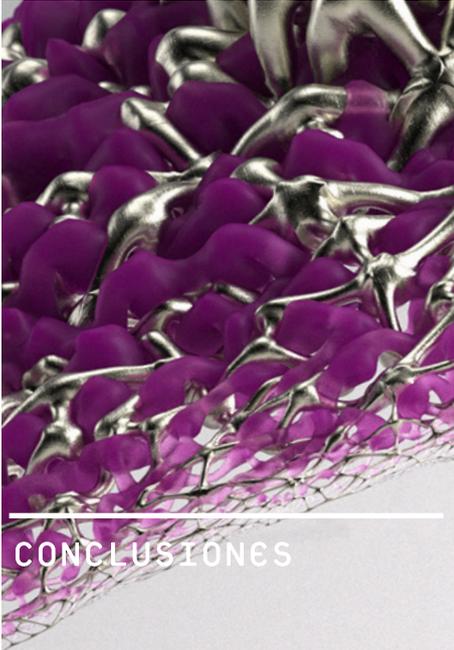
- 4.1. TDC: La Emergencia ..... 130
- 4.2. Discusión ..... 140



# 05

PROYECCIONES

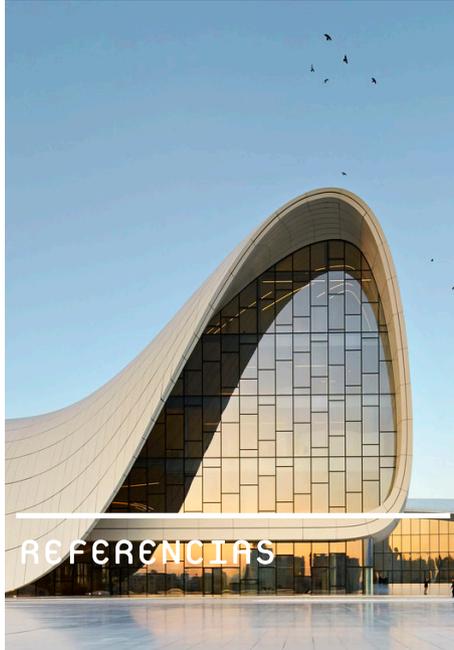
- 5.1. Desde Parametric Modeling hasta Topological Modeling ..... 145
  - 5.1.1. Parametric Modeling: Cambio del discurso arquitectónico contemporáneo ..... 146
  - 5.1.2. Restricciones de Parametric Modeling: Búsqueda de Expansión del Espacio de Diseño ..... 151
  - 5.1.3. Topological Modeling: Evolución como Cambio Cualitativo ..... 153
  - 5.1.4. Discusión ..... 158



---

CONCLUSIONES

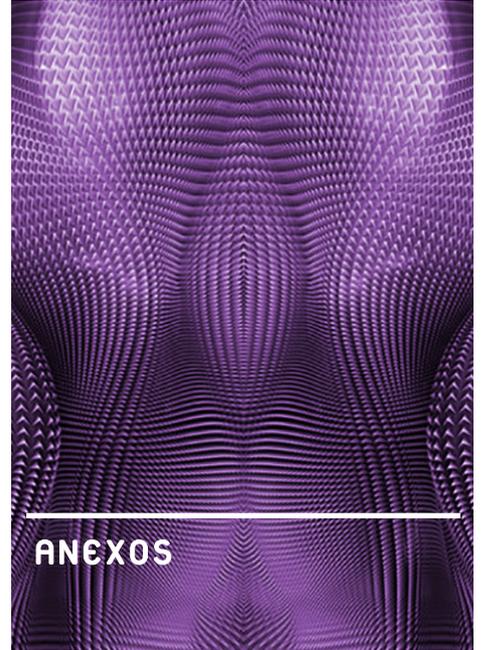
conclusiones .....165



---

REFERENCIAS

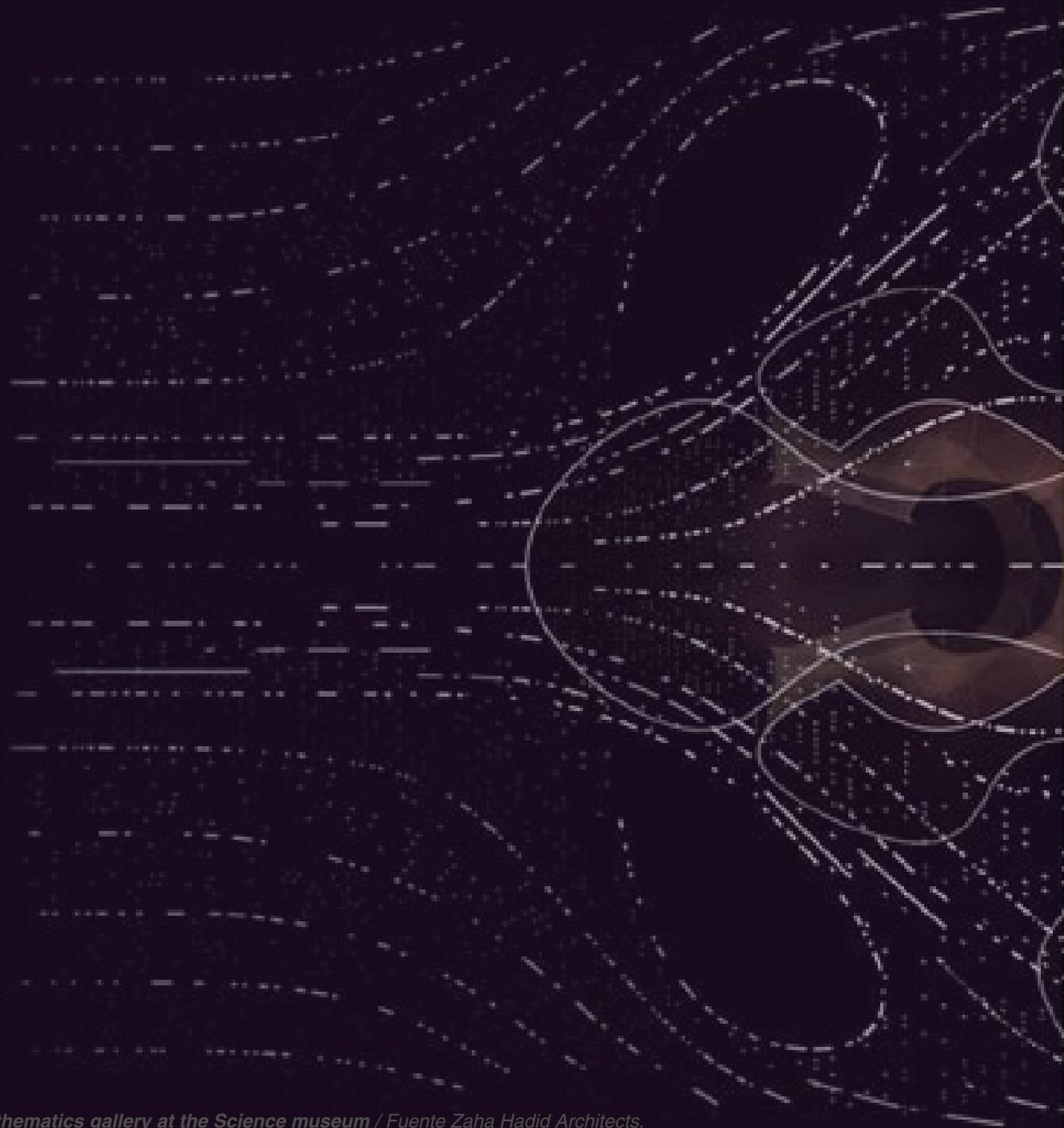
referencias .....172



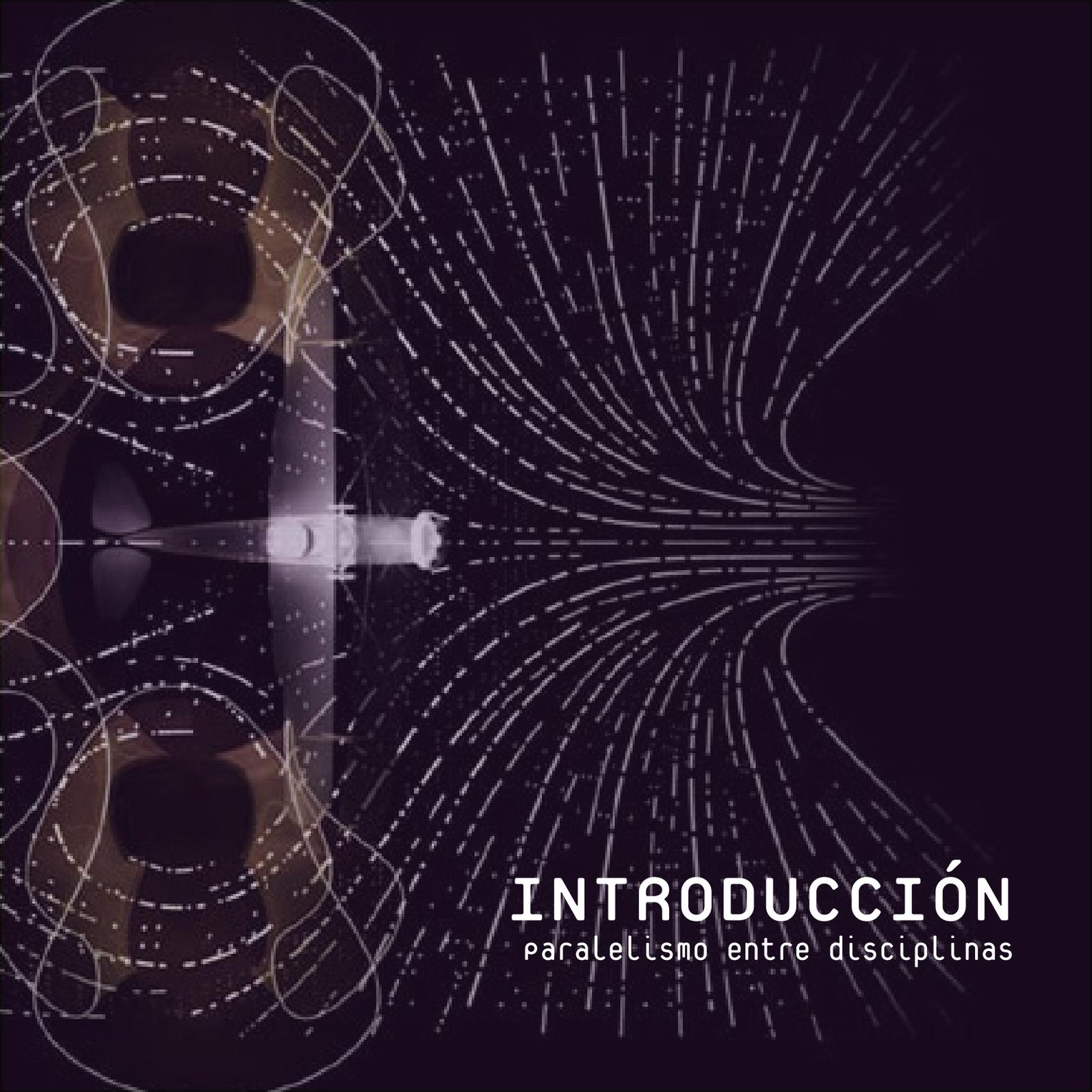
---

ANEXOS

anexos .....182

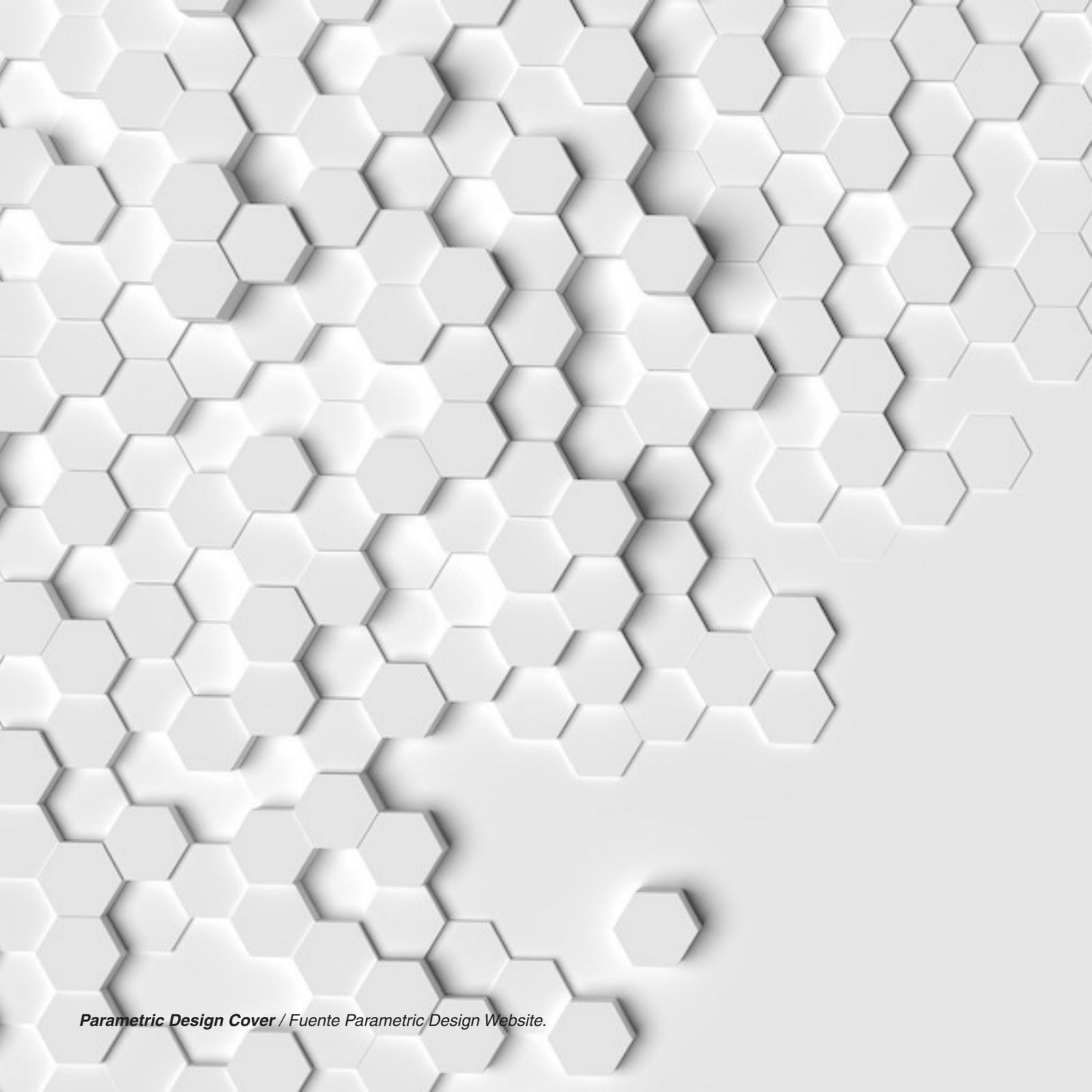


*Diagram Mathematics gallery at the Science museum / Fuente Zaha Hadid Architects.*



# INTRODUCCIÓN

paralelismo entre disciplinas



El presente estudio analiza las convergencias a partir de dos campos que se desarrollan fuertemente y de manera paralela a partir de los años 60: el Paradigma de Complejidad (PC) y los Desarrollos Tecnológicos (DT), haciendo énfasis en la evolución de los sistemas CAD (Computer Aided Design), en pos de encontrar las raíces de las distintas Teorías de Diseño Computacional (TDC) y conocer sus desarrollos y aplicaciones en la actualidad.

Las Teorías de Diseño Computacional emergen durante la década del 90, marcándose una diferencia en la forma de ver y concebir la arquitectura que se preserva hasta el día de hoy. A raíz de la adopción de tecnologías provenientes desde la ingeniería, la aeronáutica y la automovilística, se logra alcanzar la complejidad materializada en geometrías alejadas de las ya conocidas. El PC viene a aportar el lenguaje necesario para manipular la complejidad formal alcanzada gracias a la manipulación de las nuevas tecnologías.

En 1977 el filósofo Edgar Morín postula la Epistemología de la Complejidad o Paradigma de Complejidad, recopilando las teorías postuladas hasta el momento (González, 1999). Entre ellas encontramos la Teoría Difusa (Fuzzy Sets) o de los Conjuntos Borrosos (Zadeh, 1965), Teoría de los Fractales (Mandelbrot, 1975), Teoría del Caos (Prigogine, 1967) y Teoría Catastrófica (Thom, 1972).

De las relecturas de estas teorías de la mano de Derrida y Deleuze son extraídos algunos conceptos clave para la base del desarrollo teórico del Diseño Computacional. Deleuze, por ejemplo, presenta nociones asociadas a sistemas complejos relevantes para el desarrollo de tecnologías de simulación, como el concepto de rizoma, que reflexiona sobre la noción de redes y su expansión, es un sistema que no cuenta con una jerarquía centrada, sino que un sistema acentrado, un sistema complejo en sí mismo.

Dichos conceptos se importan al lenguaje digital para abordar la base teórica de lo que hoy conocemos como Teorías de Diseño Computacional, que surgía al experimentar la complejidad a través de la interacción de información que llevaba a la morfogénesis o emergencia de la forma evolutiva haciendo uso de herramientas de modelado 3D propias de los sistemas CAD.

Las tecnologías primarias nacen a partir de los años 60 y permiten la evolución constante de los sistemas CAD durante los siguientes años. Estas herramientas tecnológicas no suelen ser propias del campo de la arquitectura, sino que son importadas desde otros campos como la aeronáutica o la industria automovilística, estas introducciones permiten un crecimiento tanto en la innovación como en la expansión del campo del diseñador.

En relación a la naturaleza de los avances tecnológicos, podemos clasificar algunos que son relevantes en la evolución de los sistemas CAD. Entre estos avances se encuentran aquellos que tienen relación con la representación de la geometría y sus operaciones como las Geometrías Computacionales, Boundary Representations (BRep) y Constructive Solid Geometry (CSG). Y las que tienen relación al manejo de datos y estructura como Object Oriented, Relational Database y Binary Tree. Estas tecnologías primarias permiten el desarrollo de las tecnologías CAD.

En 1998, Greg Lynn publica el libro “Folds, Bodies and Blobs” que contiene toda una relectura del Paradigma de Complejidad aplicada a la práctica adoptando nociones de emergencia, mutación y variación, este lenguaje adquirido es aplicado en etapas de automatización en pos de la experimentación en el área del diseño computacional mediante herramientas de modelado 3D, en donde se pone a prueba la interacción de elementos en espera de la emergencia y la evolución formal (sistemas complejos). La investigación de Lynn corresponde a uno de los primeros nexos entre el proceso de diseño y nociones deleuzianas a modo del entendimiento de la generación formal como sistema complejo.

A modo de entender el dinamismo de las evoluciones y los nexos que llevaron a la emergencia de las TDC, se presenta un diagrama (imagen 1) que muestra un mapeo

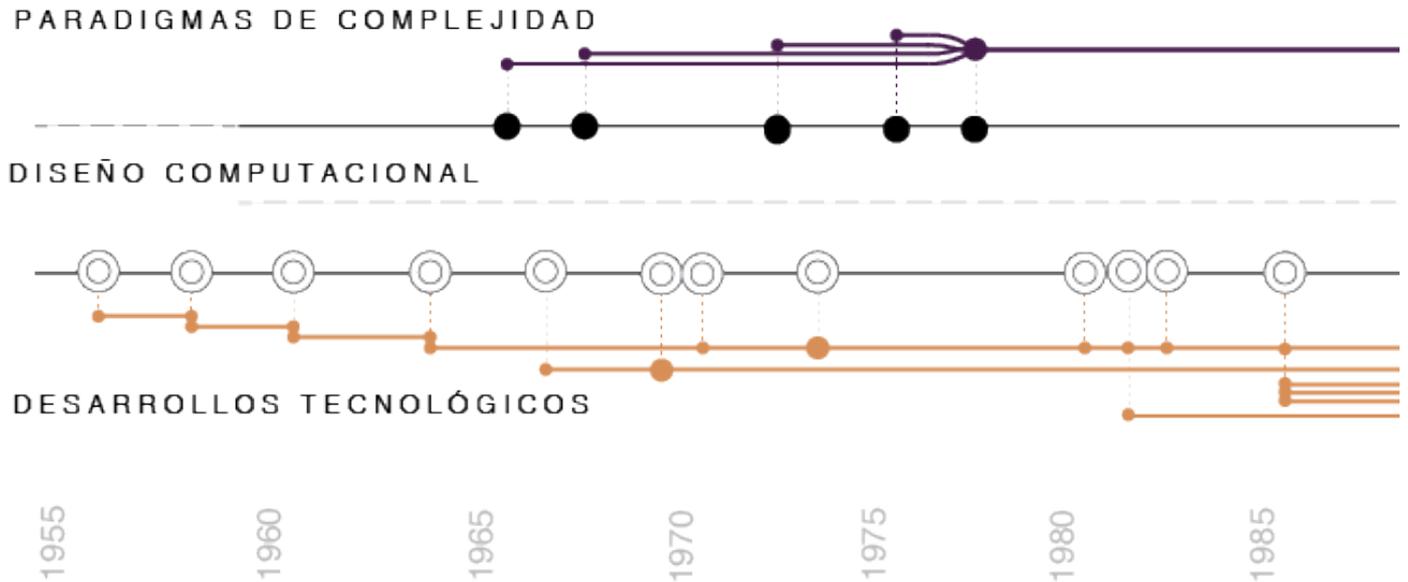
abstracto de sucesos temporales relevantes tanto para el PC como para el DT. El trazado de las relaciones temporales lleva a la evolución de los sistemas CAD y a la formación y relecturas del PC que encuentran su punto de convergencia durante la década del 90.

En el diagrama se plasman las relaciones que permiten el progreso de ambas disciplinas, por ejemplo, en morado, se distinguen los nexos del Paradigma de Complejidad que converge en un punto dirigido hacia las relecturas. En naranja se presentan la evolución de los Desarrollos Tecnológicos. Los nodos corresponden a la extensión del hito, la repetición de estos tiene que ver con las distintas relaciones que genera. Por ejemplo, Parametric Modeling tiene relación con los sistemas primarios de CAD, con simulación y la praxis.

Algunos diseñadores adoptan las tecnologías con cierto desconfío. Acostumbrados a plasmar el diseño de puño y letra sienten un desplazamiento con la llegada de los sistemas CAD que a pesar de aportar a la eficiencia reduciendo los tiempos de producción y evitando los errores de representación, podían reproducir los diseños a destajo lo que generaba una pérdida de la autoría. Entonces, con la incorporación de estas tecnologías, ¿Cuál es el rol que juega el diseñador? El hecho de adoptar dicha innovación obliga al arquitecto a generar conocimiento nuevo para comenzar a formar a un ente transdisciplinar.

La convergencia de las disciplinas permite la emergencia de las TDC las cuales generaron un impacto que repercute hasta el día de hoy y no solo en la formalidad de los diseños arquitectónicos, sino que también en las metodologías implementadas para llegar a ellos. A modo de ejemplo de una de las convergencias más relevantes se encuentra Parametric Modeling correspondiente a una de las tecnologías base de distintas TDC de generación, simulación y selección. Carga con nociones deleuzianas de iteración, variación y evolución que permiten la emergencia de la TDC “Parametric Design”.

Para entender los mecanismos históricos que aportan a la emergencia de las TDC esta tesis presenta 5 capítulos orientados a cada una de las disciplinas que lo confor-



man y los nexos que convergen en pos de este cambio de paradigma. En el capítulo uno, se exponen las distintas Teorías de Complejidad que conforman la Epistemología de la Complejidad y las relaciones con el diseño post 90's modo de entender como la lingüística proveniente desde la filosofía, la matemática y la termodinámica comienza a permean con metodologías de diseño que aluden a la complejidad formal que busca despegarse de la generación predecesora.

El segundo capítulo está directamente relacionado a la tecnología y su evolución. Tanto CAD como CAM, son tecnología que encuentran un punto común transformándose en uno de los motores económicos de la industria más grandes, debido a la eficiencia generada en la producción. No menor es el proceso de incorporación y arraigo de las tecnologías al campo de la arquitectura, definiéndose tres momentos, el primero expone el proceso de habilidad y documentación, el segundo tiene que ver con la automatización y la absorción de técnicas digitales, el último hace referencia de estas en la academia.

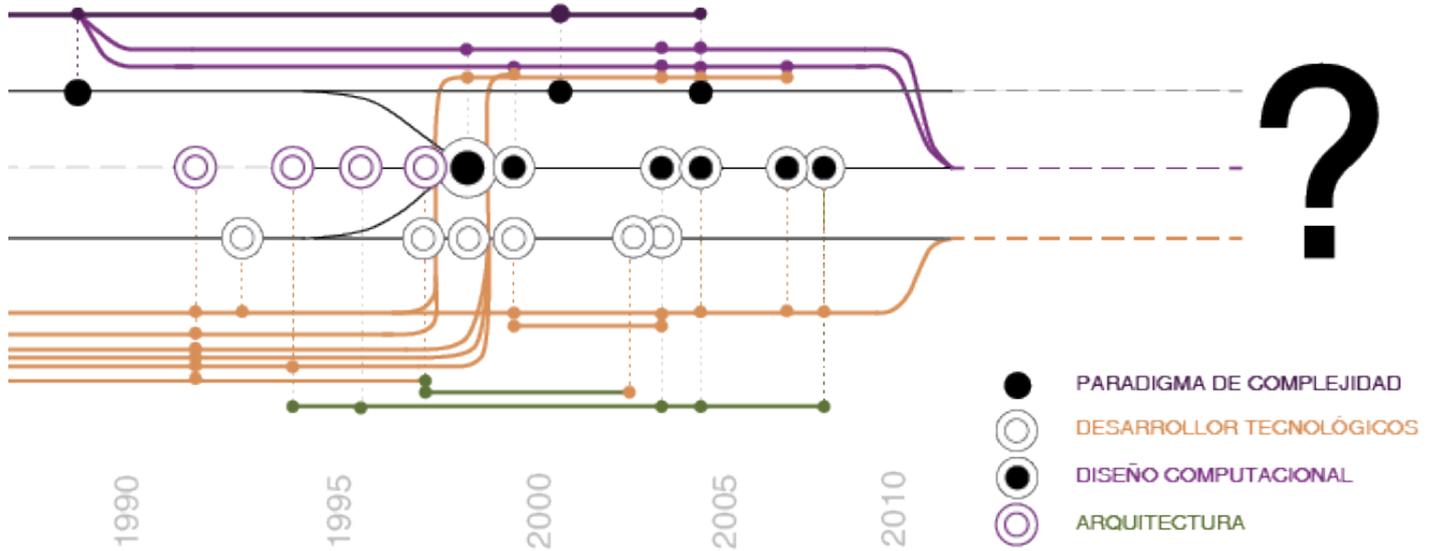
El capítulo 3 explora el comportamiento de las TDC y las tecnologías a partir de la revisión de la praxis entendiendo las técnicas y el lenguaje utilizado en proyectos emer-

**Imagen 1**

- Diagrama de Convergencias
- En naranja: Evolución de Sistemas CAD
- En morado: Relaciones del PC
- En verde: Praxis
- Nodos: Extensión de Hitos

**Fuente:**

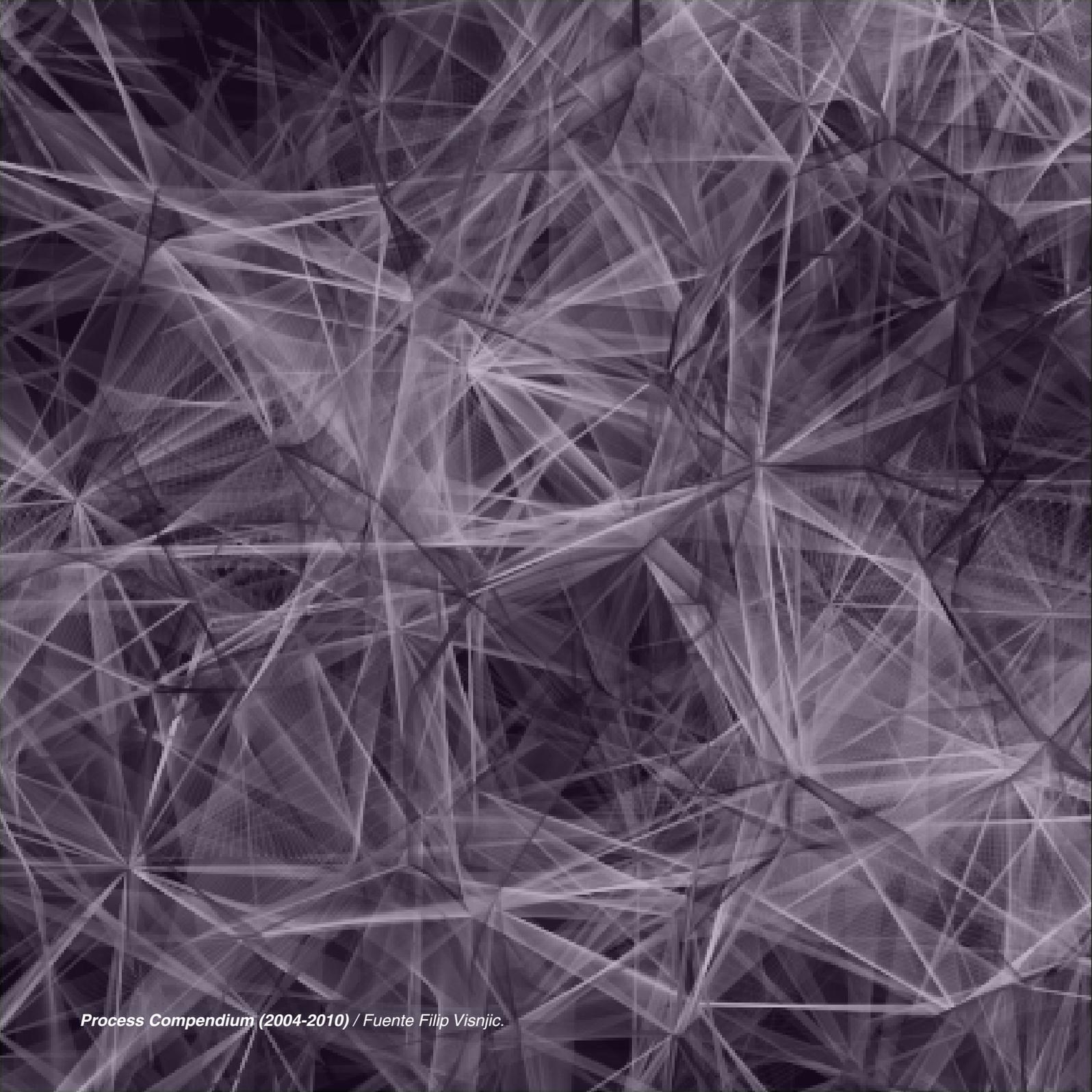
• *Elaboración Propia.*



gentes desde la digitalización. Y la academia a través de los patrones emergentes en las temáticas tratadas en los últimos 10 años a partir de los tópicos en dos aspectos, primero aquellos que generan tendencia como Digital Fabrication y los nuevos ingresos entre estos, aplicaciones de Inteligencia Artificial. Entregando así cierta noción de cuáles son los canales de desarrollo actuales.

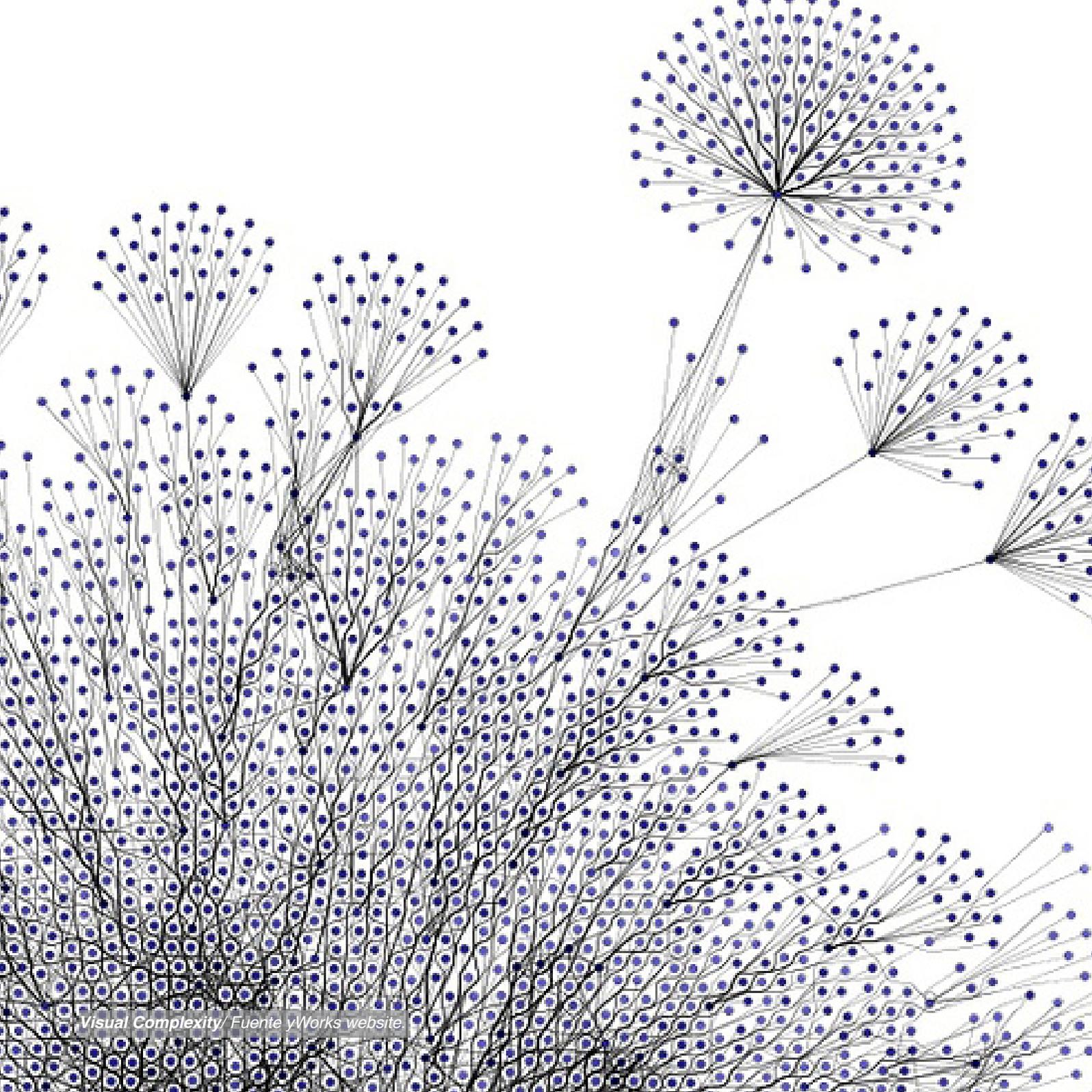
Luego, se presentan las convergencias que hacen emerger las TDC, presentando todas sus conexiones, la lingüística adoptada y sucesos temporales que han ido en un progreso exponencial en un período acotado de tiempo. Este capítulo intenta exponer tanto relacionalmente los mecanismos que logran dicha emergencia como temporalmente a través de la implementación de líneas de tiempo paralelas que permiten hacer una lectura cruzada de toda la información.

Por último, y a partir de las informaciones obtenidas desde las tendencias en academia, las nuevas tecnologías, Parametric Modeling como base tecnológica y la gestión de la información para el diseño. Se presentan cuatro canales de desarrollo actual clasificados en las nociones de: generación, simulación, selección y fabricación. Cuáles han sido sus progresos y los elementos que componen cada una de estas TDC.



| 01

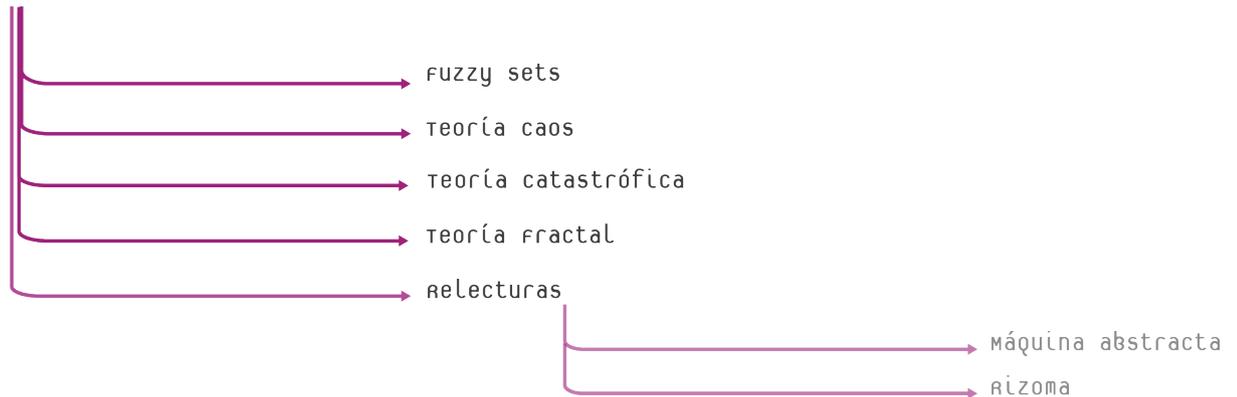
EL PARADIGMA DE COMPLEJIDAD Y SU  
INFLUENCIA EN LAS TEORÍAS DE DISEÑO  
COMPUTACIONAL



Visual Complexity/ Fuente yWorks website.

# 1. el paradigma de complejidad y su influencia en las teorías de diseño computacional

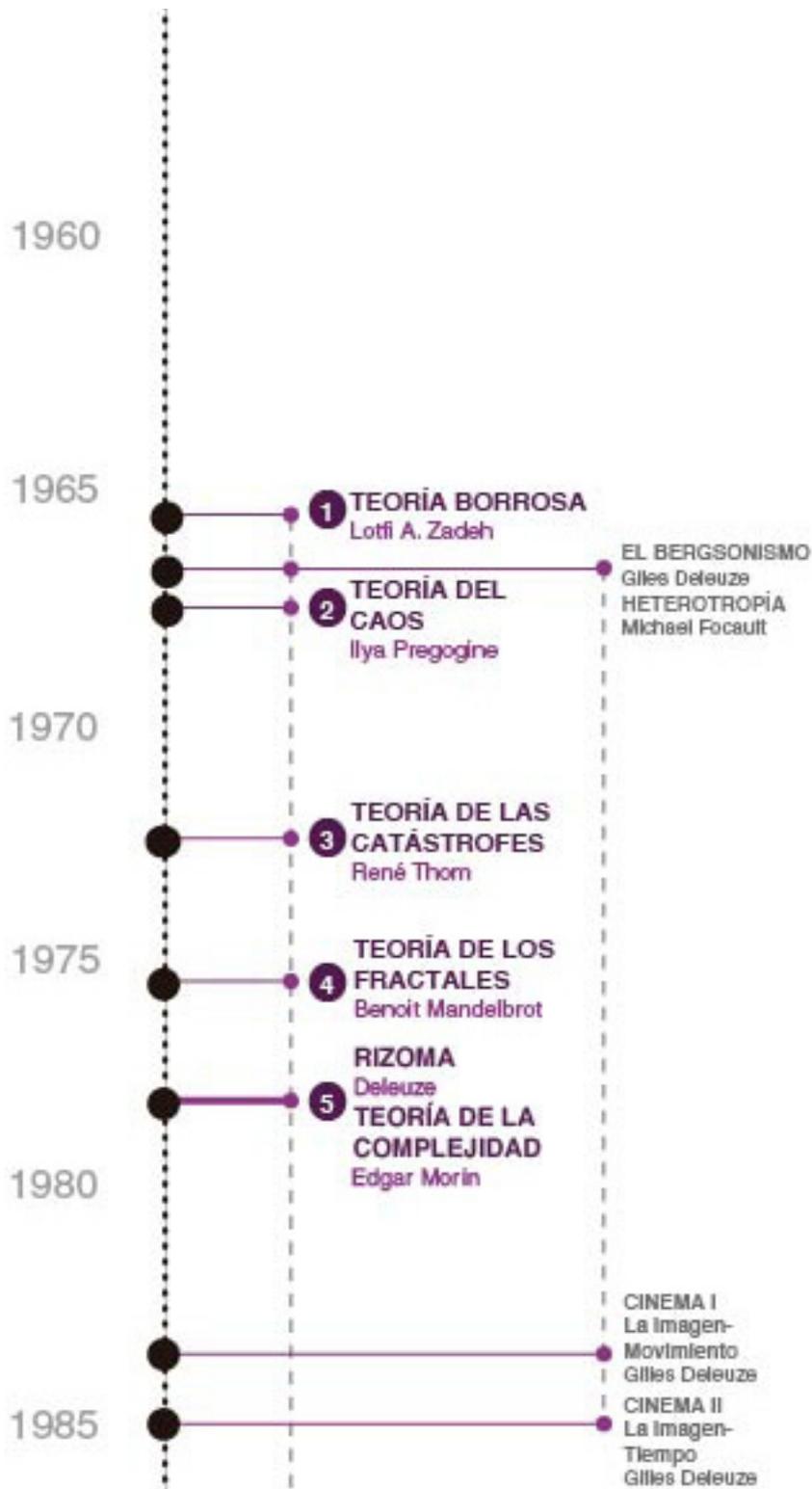
## PARADIGMA DE COMPLEJIDAD



El Paradigma de Complejidad se ha compenetrado completamente con el Diseño Computacional, aportando la riqueza de su lenguaje a la exploración de la complejidad consolidada a través de la geometría emergente. Hoy en día hablamos de nociones como emergencia, iteración y diagrama de forma natural como conceptos natos de la arquitectura computacional, cada uno de estos conceptos encuentra su origen en las distintas Teorías que componen el PC.

El origen de estas teorías data de la década del 60, alcanzando cierta popularidad durante los 70 gracias a las relecturas de filósofos como Deleuze y Guattari. Cada una de las teorías y relecturas encuentra un patrón común en la noción de incertidumbre, abordada desde distintos puntos de vista que se unifican en la perspectiva de indeterminable.

Esta noción de incertidumbre en el proceso de diseño es tratada a través de distintas



· Imagen 1.1  
 · Paradigma de Complejidad  
 · Timeline.  
 · fuente:  
 · *Elaboración Propia.*

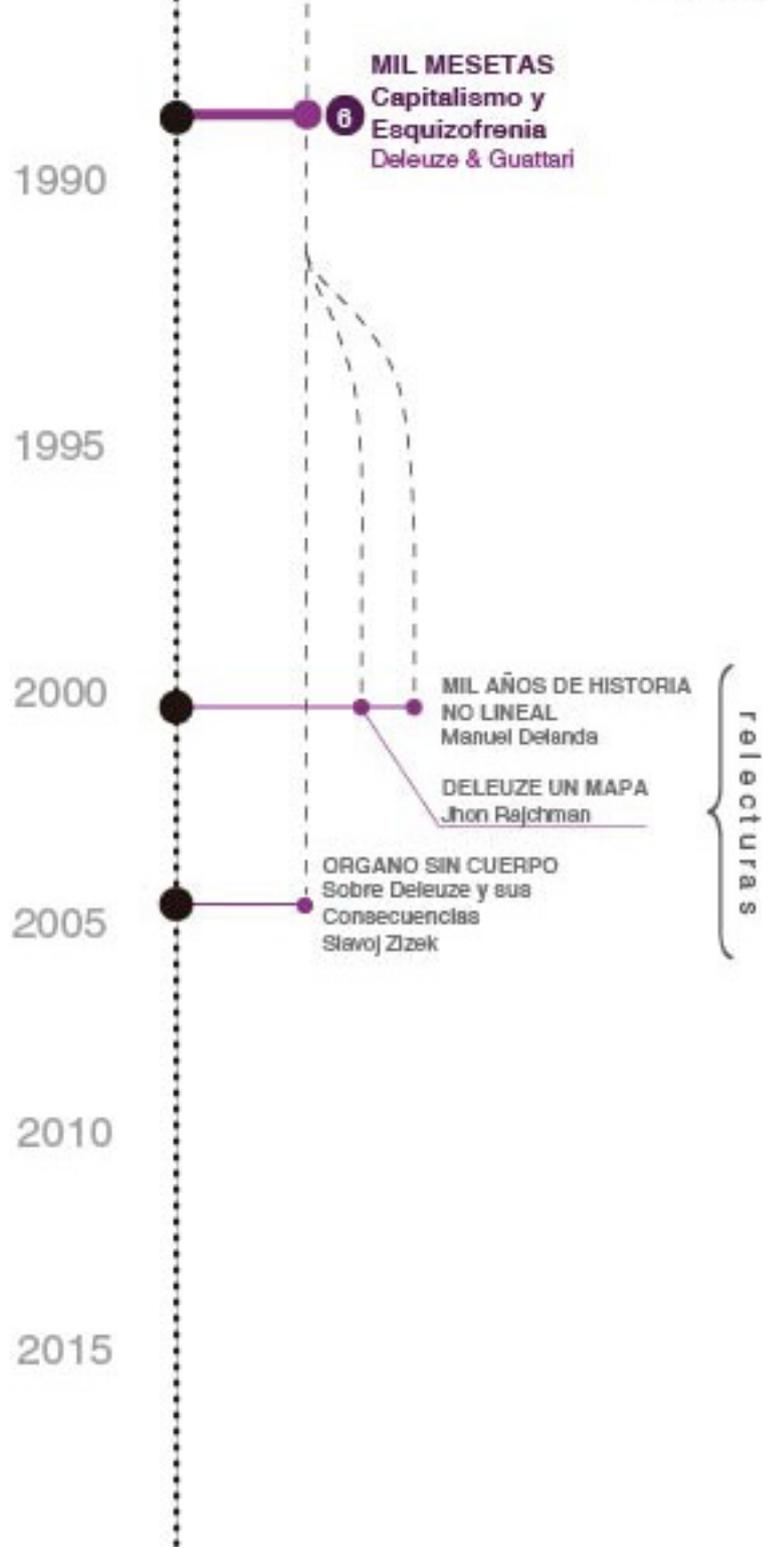
TDC que buscan la reducción de la incertidumbre a través de la exploración y optimización de múltiples alternativas provenientes del proceso generativo emergente. Una de las TDC que buscan reducirla es Performance Based Design que a partir de la simulación de instancias de diseño busca la o las opciones más acertadas a los objetivos iniciales.

Este capítulo aborda las Teorías y relecturas que nacen a partir del PC, presentando sus características y aplicaciones, para comprender el alcance y la vigencia de estas en el mundo real. Luego se establecen los nexos que nos permiten entrever su acercamiento a la praxis arquitectónica de la década del 90, y que se mantiene hasta la actualidad.

## 1.1. Introducción a la complejidad.

El **Paradigma de Complejidad** en 1977 es mencionado por Edgar Morín como la consolidación de distintas teorías que abordan el comportamiento de los sistemas dinámicos complejos (González, 1999) (ver punto 5 imagen 1.1). Para comprender su origen y conexión, se presentan en orden cronológico en el diagrama (imagen 1.1) que expone las teorías abordadas en esta investigación (en color violeta) y las relaciones que se generan entre estas, para luego decantar en los conceptos relevantes que inspiran en la década de los 90 a arquitectos y académicos como Greg Lynn, Jeff Kipnis, Stan Allen, entre otros.

Dentro de las teorías expuestas encontramos la **Teoría Difusa** (Fuzzy Sets) o **de conjuntos borrosos** (Zadeh, 1965), que habla de un elemento de parámetros o características difusas, lo que dificulta una clasificación exacta de un elemento, en un conjunto, por ejemplo, podemos decir que una puerta es amplia si ésta supera el 1,5 mt, pero si esta mide 1,48 mt de ancho ¿Podemos clasificarla como estrecha? ese grado de incertidumbre se encuentra presente en esta teoría (ver 1 imagen 1.1).



Actualmente tecnologías referidas a Machine Learning <sup>1</sup> hace uso de técnicas difusas para la clasificación (Sans, 2016).

Agent Based Design<sup>2</sup> (Sans, 2016) es una TDC que funciona como sistema dinámico y complejo, a partir de agentes simples que interactúan de forma no lineal y no trivial, lo que lleva a conductas no predecibles o caóticas (Forest, 2018), estas características están presentes en la teoría del caos (Prigogine, 1967), que es entendida como el equilibrio entre orden y desorden, causado por un grado de incertidumbre que no nos permite conocer el exacto estado inicial de un sistema, lo que lo hace impredecible e imedible (ver punto 2 imagen 1.1).

La Teoría de las Catástrofes (Thom, 1972) también se encuentra presente el tema de la continuidad y discontinuidad relacionada a la morfogénesis y la continuidad estructural (Munné, 1995) habla de los cambios repentinos que ocurren en un sistema, sin perjuicio de su continuidad o estabilidad, como por ejemplo la ebullición del agua (punto 3 imagen 1.1). Características similares se encuentran presentes en Topological Modeling, en donde los cambios ocurren a nivel geométrico topológico, en busca del aumento de la emergencia formal.

Definida como objetos que tienen divisiones fraccionarias de características no euclidianas, que siguen un patrón generador y pueden llegar a subdividirse hasta el infinito sin perder su semejanza con el conjunto, (punto 4, imagen 1.1) la teoría de los fractales (Mandelbrot, 1975) tiene aplicaciones en algoritmos evolutivos a modo de exploración de patrones y formas complejas.

Deleuze hace su propia relectura de la Complejidad, de estas relecturas nacen dos conceptos claves para entender los sistemas complejos, el rizoma y las máquinas

.....

1 Teoría de diseño computacional que se define como la disciplina del aprendizaje a partir de datos y observaciones. Combina estadísticas y metodología de aprendizaje de la inteligencia artificial.

2 Craig Reynolds crea los primeros modelos basados en agentes biológicos con características sociales. Intentó modelar la realidad de agentes biológicos vivos, conocidos como vida artificial.

abstractas. El Rizoma (Deleuze & Guattari, 1977) hace alusión a la botánica a partir de una analogía con sus tallos subterráneos, de sus conexiones, particularidades y la heterogeneidad que se genera a partir de estas singularidades.

La noción de Máquinas Abstractas, se denominan como tal al ser inmateriales, cada máquina abstracta tiene características diagramáticas que no suelen parecerse a lo que producen y enfoca mayoritariamente su mirada en el proceso (Deleuze & Guattari, 1988). A partir de las relecturas y teorías deleuzianas se extraen gran parte de los conceptos que son relevantes para la base teórica de las TDC y que se presentarán con más detalle a continuación.

## 1.2. Teoría de Los conjuntos borrosos (Fuzzy sets)

Aparece en la Universidad de California en Berkeley de manos de Lofti A. Zadeh en la publicación denominada “Fuzzy Sets” (1965), la teoría borrosa trata de materializar un modelo lógico matemático de carácter impreciso, en donde un elemento puede pertenecer a uno o más conjuntos dado sus criterios de pertenencia (Munné, 1995).

Su relevancia data de la gran variedad de aplicaciones que se desprenden a partir de esta lógica, como algunas en el control de complejos procesos industriales, la construcción de artefactos electrónicos de carácter doméstico o de entretenimiento, sistemas de diagnóstico, diseño de tecnologías artificiales de deducción automática (Morales-Luna, 2002), en el que es posible simular el razonamiento humano basado en el conocimiento (González Morcillo, 2011), este caso encontramos aplicaciones en Machine Learning.

Para entender el comportamiento de la lógica difusa, es relevante comprender la teoría de conjuntos<sup>3</sup>, que está basada en la lógica aristotélica y el álgebra de Boole (Munné, 1995), en donde existe un único y definido umbral que nos permite hacer

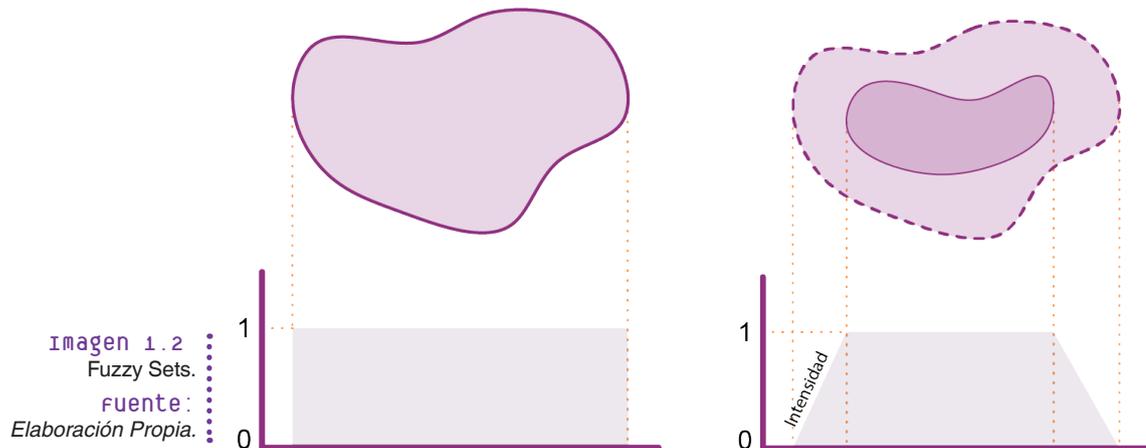
.....

3 Teoría de los conjuntos tradicionales o nítidos (Cantor, 1874).

una dicotomía sencilla de elementos “verdaderos y falsos”, “sí o no”, es decir podemos clasificar fácilmente los elementos según sus características.

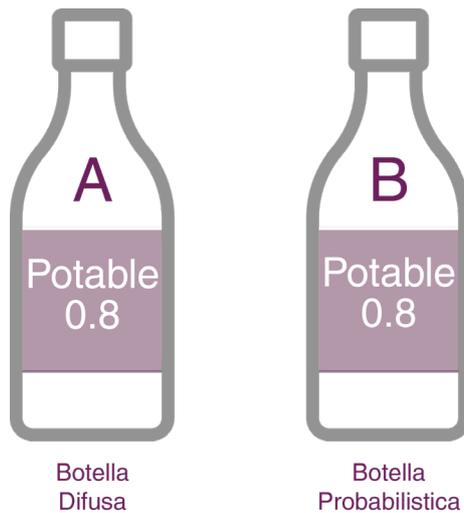
Fuzzy Sets (imagen 1.2), es una extensión de los conjuntos tradicionales a otros con fronteras difusas (ELO-337, 2016), ya que el razonamiento humano al no ser determinista, no está limitado solo al ítem verdadero y falso, sino más bien tiende a graduar automáticamente los elementos, por ejemplo, podemos decir “el cielo es azul” y automáticamente estaremos preguntándonos por su intensidad de azul (Morales-Luna, 2002); también si decimos que las personas de estatura baja miden 1,60 metros o menos, y posteriormente comparamos los resultados de una persona que mide 1,59 con respecto a una que mide 1,61 metros es posible notar la mínima diferencia que nos obliga a cuestionarnos su posible categorización, por ende no podremos llamarlo ni alto, ni bajo. A ese umbral se le denomina “difuso”.

Según los ejemplos anteriores se entiende que los conjuntos borrosos tienen dos



umbrales, uno de estos completamente definido por sus parámetros de fácil tipificación debido a sus características (imagen 1.3), mientras que el otro tiene cierto grado de incertidumbre al no existir una categorización clara, de aquí nacen los grados de intensidad correspondientes a la clasificación intermedia de aquellos elementos que se encuentran en la incertidumbre (Munné, 1995).

Entre sus características se encuentra la posibilidad de representar matemáticamente



• Imagen 1.3  
• Botellas Difusa y Probabilística.  
• Fuente:  
• González, 2011.

te la incertidumbre, según Zadeh (1965) cuando la complejidad es mayor, la precisión de los enunciados pierden significado y los enunciados de utilidad son aquellos que pierden precisión, a modo de ejemplo podría resumirse en que los árboles no te permiten ver el bosque.

A diferencia de la probabilidad que representa la información según las ocurrencias según un evento definido en relación a la totalidad de estos, la lógica difusa y su grado de pertenencia representa las similitudes entre eventos que no tienen características precisas definidas, por ejemplo, si se presentan (González Morcillo, 2011) dos botellas de agua potable con el etiquetado según la imagen 6, “0,8 potable”, ¿Cuál debería elegir para consumir?

La botella A indica que el líquido en su interior es “bastante” similar a otras que contie-

nen agua potable (noción de pertenencia), cabe mencionar que entre más cercano a 1 mayor es la similitud, en este caso al agua potable. Mientras que la botella B indica que la probabilidad de que el contenido sea agua potable es de un 80%, por lo que existe una probabilidad de un 20% de que el contenido de la botella sea veneno (González Morcillo, 2011).

Esta lógica corre con algunas ventajas por sobre la lógica nítida, entre estas se menciona el tratamiento de la incertidumbre, la ambigüedad y la ambivalencia y la capacidad de tener ciertos elementos multivariados que responden a la intensidad, es decir, a la gradiente entre dos valores cuantitativos (Munné, 1995). También permite acercar el mundo de la matemática con la imprecisión del mundo real.

Esta lógica corre con algunas ventajas por sobre la lógica nítida, entre estas se menciona el tratamiento de la incertidumbre, la ambigüedad y la ambivalencia y la capacidad de tener ciertos elementos multivariados que responden a la intensidad, es decir, a la gradiente entre dos valores cuantitativos (Munné, 1995). También permite acercar el mundo de la matemática con la imprecisión del mundo real.

A partir del 1972 se incorporan dos conceptos relevantes hasta el día de hoy, la variable *lingüística* y el concepto de reglas if-then, ambos evolucionaron aceleradamente en aplicaciones de control difuso. De aquí nace el concepto “*Soft Computing*” en 1981 en el Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC), que se define como el uso de metodologías que entregan los fundamentos para el desarrollo, diseño y utilización de sistemas inteligentes. Algunas metodologías que forman este grupo son: la Lógica Difusa, la Computación Evolutiva, Métodos Probabilísticos y Machine Learning. Tecnologías que pueden ser combinada en pos de la obtención de mejores resultados (González Morcillo, 2011).

## 1.3. Teoría del caos

La teoría del caos corresponde a un sistema complejo y se le atribuye principalmente a Ilya Prigogine (1967), quien postula que el mundo no sigue estrictamente el modelo del reloj, sino que tiene aspectos caóticos al ser de carácter no lineal. Este enunciado forma la base de la teoría de estructuras disipativas o caos, que se caracteriza principalmente por ser de predicción imposible debido a su gran nivel de incertidumbre.

Desde esta teoría se desprende el “*efecto mariposa*” o caos matemático, que postula que los procesos de realidad dependen de un conjunto de circunstancias dudosas que establecen que cualquier pequeña variación en un punto, generará próximamente un efecto imponente en el “otro extremo del planeta” (Cazau, 2002).

Para entender mejor este concepto podría decirse que el aleteo de una mariposa en un lugar y tiempo determinado, podría afectar las ondas de viento que inciden en el pasto, que a su vez podrían mover a un mosquito de su posición que podría ser impactado por alguna alteración química, que a través de una picadura es traspasada a un ser humano que por contacto contagia a otro, y así sucesivamente hasta generar una gran pandemia.

No importa que tan exacta sea la data, siempre existirá un grado de incertidumbre e indeterminismo que no nos permitirá conocer el estado inicial exacto en el que se produce un evento, por lo tanto, tampoco es posible determinar ni causas ni efectos (Cazau, 2002), por ejemplo, si conociéramos el estado inicial exacto sería posible hacer el cálculo de cuál sería su efecto, para efectuar este cálculo hay que tener especial cuidado ya que cualquier variación mínima puede producir alteraciones a mediano y corto plazo.

Los sistemas caóticos no se componen solamente de caos seguido de más caos, sino que exploran las posibilidades, es decir que el orden lleva al caos y el caos lleva al orden, una alternación entre el orden y el desorden es lo que le permite al sistema hablar de equilibrio.

## CAOS=ORDEN + DESORDEN Equilibrio

Cuando hablamos de caos nos referimos a sistemas dinámicos<sup>4</sup> que pueden ser lineales siempre y cuando los cambios en el sistema no originen grandes cambios en el proceso y resultado. Por el contrario cuando pequeñas variaciones generan grandes cambios (efecto mariposa) se habla de que la dinámica se rige por un carácter no lineal o caótico (Goldstein, 2011).

Los sistemas caóticos se estudian en base a los “*espacios de fases*” (imagen 1.4), en el que se encuentran movimientos con trayectorias pseudo periódicas, desde acá emergen los *Atractores Extraños*, correspondientes a los límites a los que tienden las

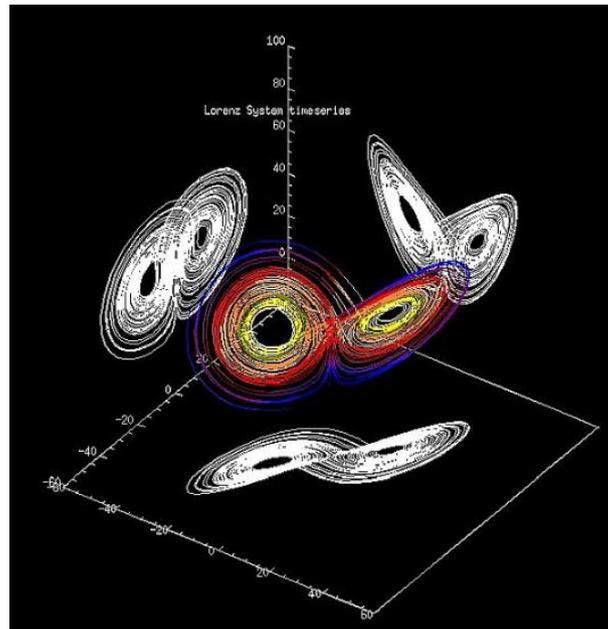
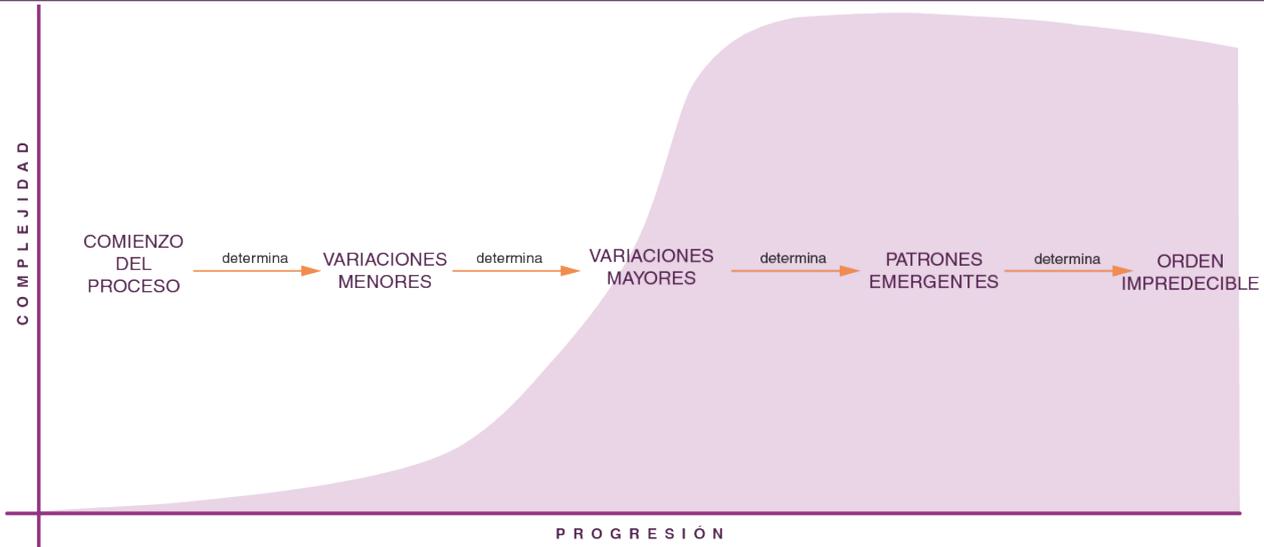


Imagen 1.4 :  
Atractores en su Espacio de Fases.  
fuente:  
Hermida, 2010.

4 Un Sistema Dinámico podemos considerarlo como una colección de partes que interactúan entre sí y se modifican unas a otras a través del tiempo (Rodríguez, 1996).



trayectorias del espacio de fases. Estos Atractores forman geometrías iguales entre sí en distintas escalas, geometrías fractales (Hermida, 2010).

Este diagrama (imagen 1.5) busca exponer de manera sencilla a través de un acercamiento del diseño a un proceso caótico. Este no solo tiene que ver con el desorden, sino que también se trata de patrones de orden emergentes (Goldstein, 2011). En donde se muestra el inicio del proceso que determina en primera instancia variaciones menores, a medida que avanza el tiempo las variaciones tienen una afección mayor, desde acá aparecen los patrones emergentes que determinan un “orden impredecible”.

Tanto la teoría del Caos como la de Fractales han tenido fuerte impacto en la producción de arquitectura “no lineal” haciendo uso de la computadora (Carnicero, Fornari, & Pereyra, 2004), específicamente en el uso de herramientas de diseño paramétrico, especialmente en trabajos de arquitectos como Frank Ghery, Greg Lynn, O.C.E.A.N UK, F.O.A., Reiser + Unemoto, entre otros.

Un ejemplo claro de caos en arquitectura se puede ver en la imagen 1.6 y 1.7 en el proyecto “A Systemized Aggregation with Generative Growth Mechanism in Solar Environment” (Lee, 2015), que haciendo uso de sistemas generativos de Agent-Based

• **Imagen 1.5**  
 • Diagrama de progresión  
 • en el tiempo de un proceso  
 • caótico.  
 • **Fuente:**  
 • Goldstein, 2011.



Imagen 1.6 :  
Prototipo Sistema de Propagación  
Agent-Based System.  
Fuente :  
Lee, 2015.

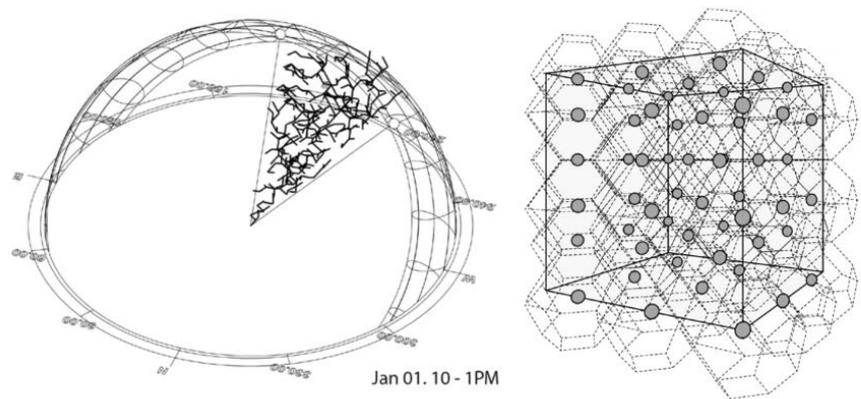


Imagen 1.7 :  
Modelo de medición para  
Sistema de Propagación  
Agent-Based System .  
Fuente :  
Lee, 2015.

System utiliza interacciones de agentes simples para generar reglas de propagación a partir de una unidad base basado en la búsqueda de aseoamiento emergiendo diversas variaciones formales.

Las herramientas computacionales han permitido la construcción de formas complejas, dinámicas y caóticas, que al día de hoy no solo son representadas en medios virtuales, sino también se concretan. Cuando hablamos de caos hablamos también de evolución y mutación como efectos de incierta magnitud. Llevado al plano computacional, nos referimos a modelos paramétricos y topológicos respectivamente.

Según Lynn (1995) *“La arquitectura paramétrica puede desarrollar conceptos, por medio del computador, que llevan a una nueva forma de proyectar diseños que no se pueden lograr con los medios tradicionales, ya que su concepto e idea principal es lo dinámico y lo mutable, todo el movimiento y los flujos, que puede llegar a ser demasiado complejo para la mano del hombre”*.

## 1.4. Teoría catastrófica

Corresponde a otra de las ramas que estudian las bifurcaciones en los sistemas dinámicos complejos, específicamente aquellos que presentan fenómenos naturales. Contraria a la teoría del caos por su perfil determinista la teoría de las catástrofes es planteada por René Thom a fines de los años 50 y es difundida en el 1968 e impulsada por Christopher Zeeman en los años 70 (Munné, 1995). Anteriormente fue conocida como teoría de la morfogénesis y la estabilidad estructural (Thom, 1972).

En matemáticas, catástrofe se define como formas geométricas que generan discontinuidades o cambios bruscos, en donde cualquier discontinuidad es un desastre y se caracteriza por un cambio cualitativo, una mutación. La imagen 1.8 presenta una parábola que demuestra una discontinuidad. Esta proposición presenta lo propensos que son los sistemas *“estructuralmente estables”* a manifestar algún tipo de *discontinuidad, divergencia o histéresis* (Thom, 1972).

Cuando hablamos de discontinuidad nos referimos a los cambios repentinos del comportamiento o resultado, por ejemplo, el cambio de estado líquido a gaseoso.

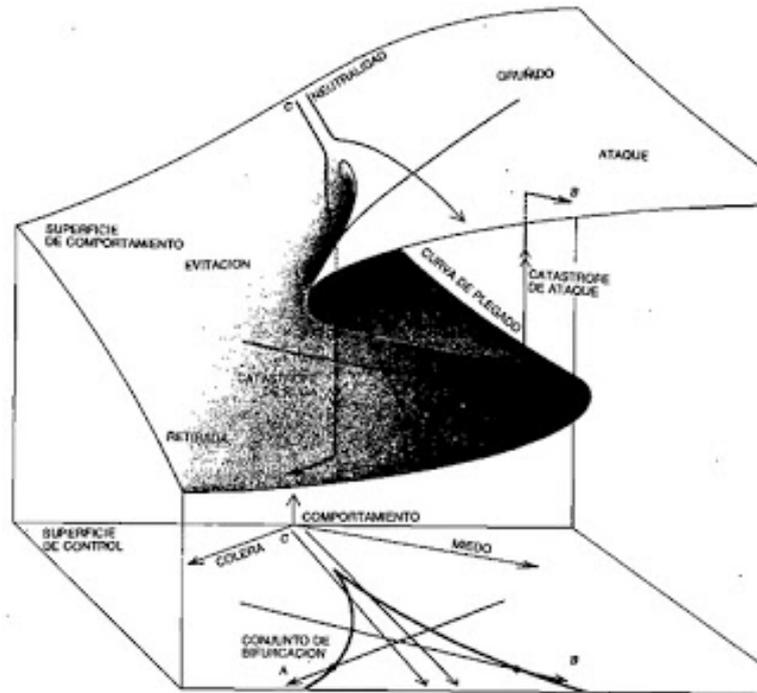


Imagen 1.8  
 Parábolas Catastróficas,  
 ilustración de Zeeman, 1983 .  
 fuente:  
 Biedma, 2012.

Existe un momento culmine dentro de este tipo de manifestación en el que ya no es posible mantenerse en el mismo estado, lo que pasaría a ser un “cambio brusco” (Thom, 1972).

La divergencia aborda la capacidad de las pequeñas diferencias de crear otras de mayor envergadura (Thom, 1972). Por ejemplo, si un avión está diseñado con respecto a peso, tamaño, etc. Y su capacidad máxima es de 100 pasajeros, pero la demanda de pasajes corresponde a 101, existirá la necesidad de hacer uso de otro con mayores dimensiones, con esto se refiere que a partir de cambios pequeños en instancias preliminares emergen resultados completamente alejados.



El estado conocido como histéresis postula que un estado depende de su historia previa, pero si sus estados anteriores se invierten, no es posible volver a estado original, esta fase es contraria a la teoría de la termodinámica denominada como “proceso reversible”<sup>5</sup> (Ekeland, 1977). Un ejemplo de histéresis corresponde al proceso en que una barra de metal aumenta su largo a través del calor, si ingresa la variable tiempo, y este aumenta junto con la temperatura la barra se derretirá y no podrá volver a su estado original.

• **Imagen 1.9**  
 • Peter Lewis House, 2002.  
 • **Fuente:**  
 • *Constructabilityinc Website.*

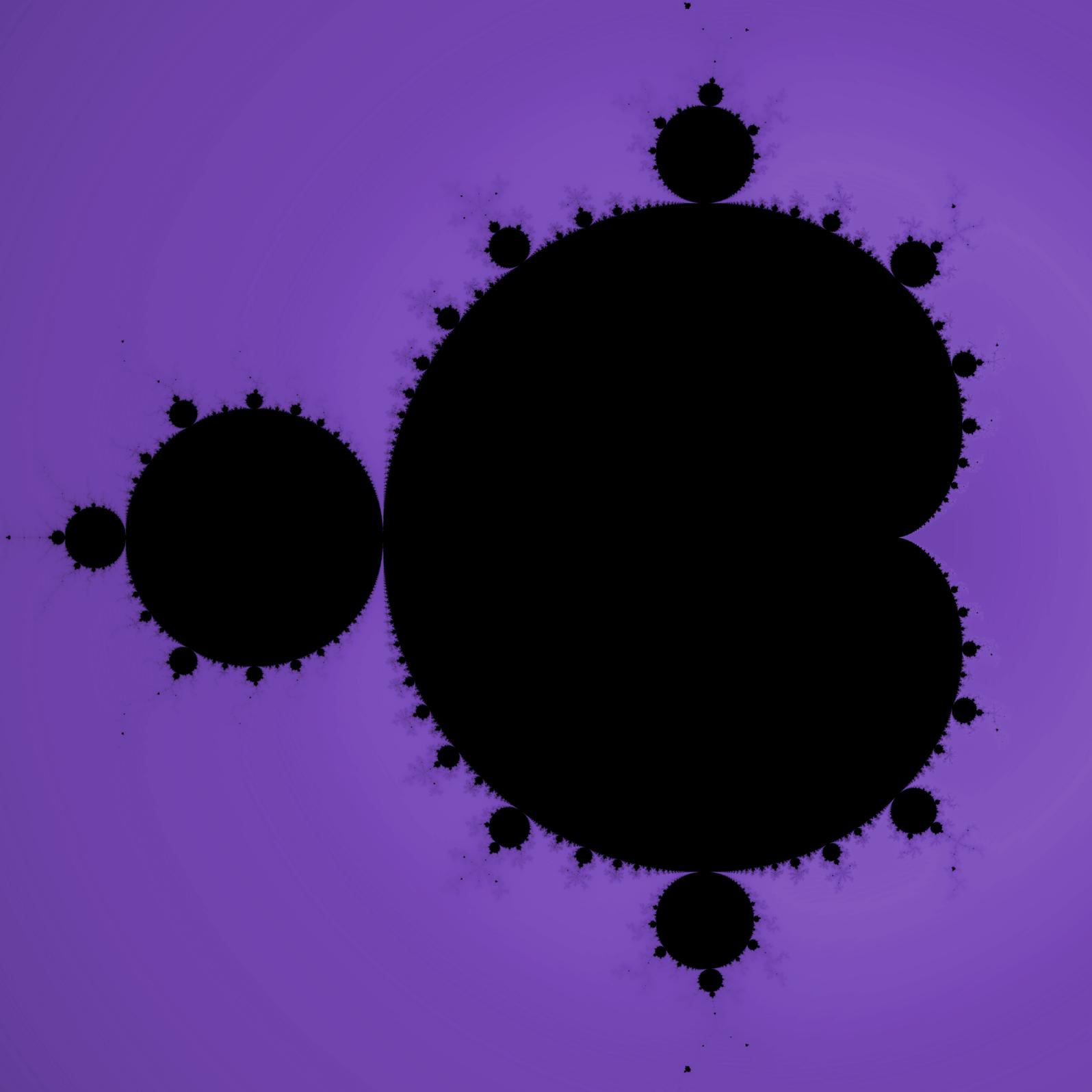
Algunas de sus aplicaciones se encuentran en el análisis del comportamiento repetitivo y los modelos de cambio organizativo, evolución social y sistémica, toma de decisiones, etc. (Biedma, 2012). Es de gran utilidad para el cálculo de sistemas dinámicos complejos que representan fenómenos naturales y que por sus características no pueden ser escritos de manera exacta (Ekeland, 1977), lo que se proyecta a aplicaciones de simulación de sistemas dinámicos con software como NetLogo, StarLogo, entre otros, estas plataformas específicamente utilizan el lenguaje de Agent-based.

Características de morfogénesis se encuentran presentes en Topological Modeling, en donde los cambios o mutaciones ocurren a nivel geométrico, en busca del aumento de la emergencia. Las geometrías topológicas en conjunto a los diagramas de catástrofes crean suaves discontinuidades. Un ejemplo se encuentra en Peter Lewis House (imagen 1.11) de Fran Ghery y Philip Johnson (2002) que nace de formas flexibles que se adaptan a factores programáticos, estructurales y ambientales generando discontinuidades en su exterior<sup>6</sup>. Según Lynn (1998) Lewis House mantiene una serie de fragmentos de figuras discretas como la morfogenética presente en los diagramas de Rene Thorn.

.....

5 El proceso reversible viene determinado unívocamente en función de una serie de variables de control o independientes, por ejemplo, una varilla metálica posee un largo, si ese largo está en función de la temperatura, cada valor de largo estará asociado unívocamente a un valor de temperatura, sin depender de la velocidad de variación de temperatura.

6 Lynn se refiere a fenómenos de sistemas complejos llevados a la arquitectura en su capítulo The Folded, the pliant and the supple.



## 1.5. Teoría de los fractales

### Imagen 1.10

Conjunto Mandelbrot ( $z=z^2 + c$ ).

### Fuente:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

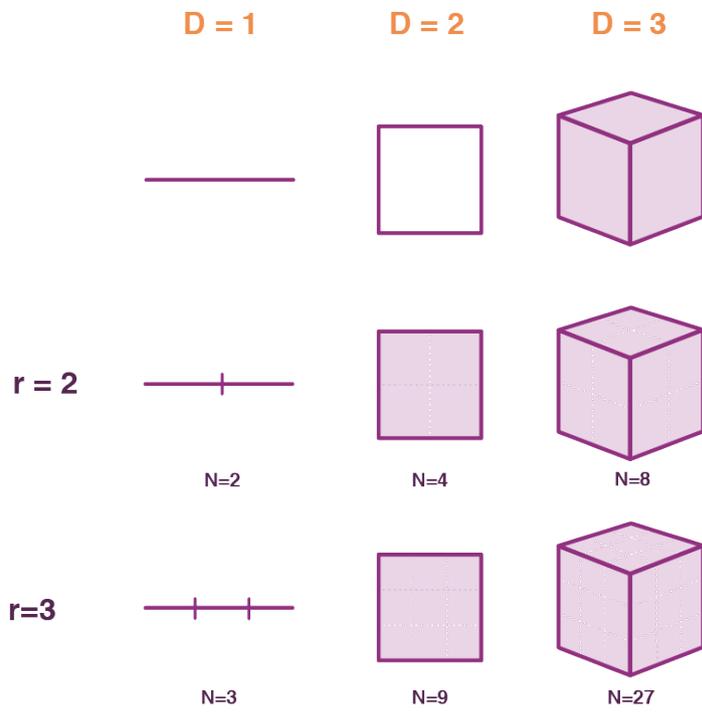
Benoit Mandelbrot (1975) introduce la teoría fractal, que corresponde a una forma de complejidad irregular de difícil transcripción a términos geométricos tradicionales, de perfil no euclidiano pueden ser subdivididas de forma fraccionaria siguiendo un patrón generador sin límites y sin perder su semejanza con el conjunto (Munné, 1995), en donde cada parte más pequeña es similar al todo<sup>7</sup> (Mandelbrot, 1975).

Su estudio comienza a partir de la resolución de problemas antiguos en una computadora, partiendo de los números enteros hasta la representación de los números complejos en un plano. De esta forma encontró una ecuación visualmente simple (imagen 1.10), pero de gran complejidad, en donde un valor “z” se transforma en “z<sup>2</sup> + c” (Mandelbrot, 1975), esta fórmula forma la “Isla de Mandelbrot” y dependiendo de su manipulación existirá una variación en su resultado geométrico exterior (Rodríguez, 1995).

Existe un patrón generador que rige las subdivisiones en un fractal, dichas fracturas pueden ser medidas. En 1919 Hausdorff presenta un número (imagen 1.11) que en principio no tuvo mayor relevancia, pero que representa la medida de la rugosidad, estos factores son los que utiliza Mandelbrot para hacer las respectivas divisiones y determinar el nivel de fracturación o liso de una superficie (University Vanderbilt, s.f.).

Existen distintos métodos de generar geometrías fractales como la Curva de Koch (imagen 1.12) que comienza con una línea recta llamada **iniciador**, al eliminar el segundo tercio del segmento de línea lo reemplazamos por dos de igual longitud.

<sup>7</sup> La similitud también se denomina **autosimilitud**, concepto es fundamental en los fractales y se refiere a aquellos objetos que presentan una similitud a distintas escalas (Rodríguez, 1995).



**$N = r^D$**

Imagen 1.11  
 Principio de Dimensiones de Hausdorff.  
 Fuente:  
 University Vanderbilt, s.f.

Esta nueva curva se denomina **generador**, porque especifica una regla para seguir trabajando cada uno de los segmentos restantes<sup>8</sup> (University Vanderbilt, s.f.).

Los sistemas L (Lindenmayer 1968) corresponden a un tipo de Shape Grammar (Stiny & Gips, 1971), TDC de carácter generativo que funciona con el entendimiento de la descomposición de la forma en pos de generar reglas que permitan construir nuevas geometrías a partir de un patrón generador (Knight, 2000). Estos sistemas permiten representar fractales a modo de transformación recursiva, dicha mutación puede llevarse a cabo mediante el establecimiento de reglas de producción (Ortega, et al, 2003).

Su característica de orden jerárquico multinivel permite que la teoría fractal tenga di-

8 La subdivisión puede ser infinita.

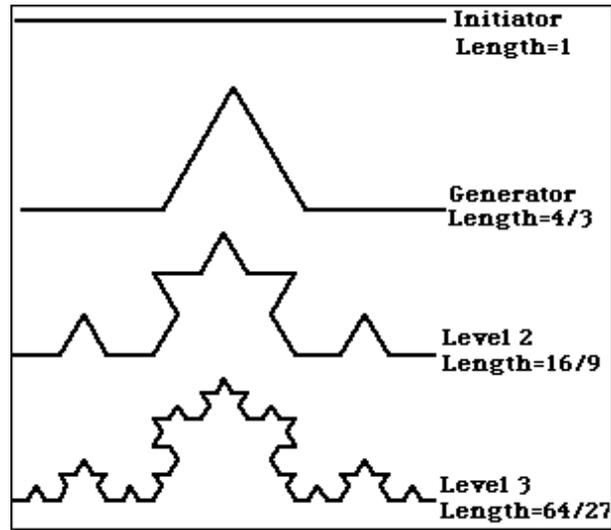


Imagen 1.12 :  
Curva de Koch y proporciones de  
subdivisión.  
fuente:  
University Vanderbilt, s.f.

versas aplicaciones en arquitectura. Un ejemplo de utilización de geometría fractales tiene que ver con el diseño de superficies con el fin de superar los límites de mitigación impuestos por la mayoría de los difusores de sonidos diseñados para responder a una estrecha banda de frecuencias, el control de subdivisión de fractales permite simular el comportamiento del sonido en cada una de las superficies de prueba probando que a más detalle mayor eficiencia (Ajouluni, 2017).

También encontramos estudios fractales en *algoritmos evolutivos*<sup>9</sup> a modo de exploración de un espacio de búsqueda, patrones y formas complejas. A modo de ejemplo, la geometría fractal ha sido utilizada para la realización de estudios de comportamiento urbano y planificación de su forma física a través de la simulación por computadora, en principio la composición de la ciudad puede volverse caótica e irregular, pero al simular en base a la geometría fractal es posible encontrar y entender su organización y complejidad (Batty & Longley, 1994).

Las geometrías fractales como forma de geometrizar el caos en la naturaleza (Munné, 1995), nos entregan un amplio espectro de posibilidades en el diseño y nos permiten manipular a través de la aplicación en generación y simulación un abanico de

9 La computación evolutiva simula a la evolución natural en el diseño de implementación de herramientas computacionales para la resolución de problemas, a estos se les denomina algoritmos evolutivos (Ochoa, 2018).

Imagen 1.13

$$Z = Z^2 + C$$

fuentes:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

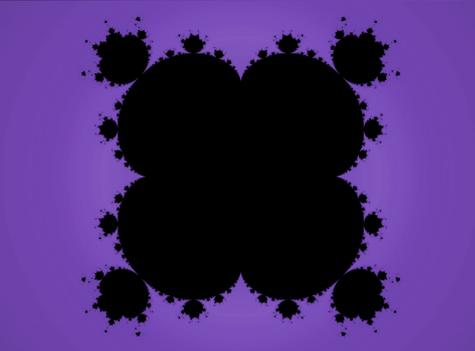
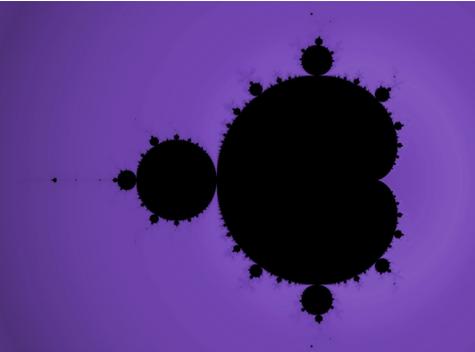


Imagen 1.14

$$Z = Z^3 + C$$

fuentes:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

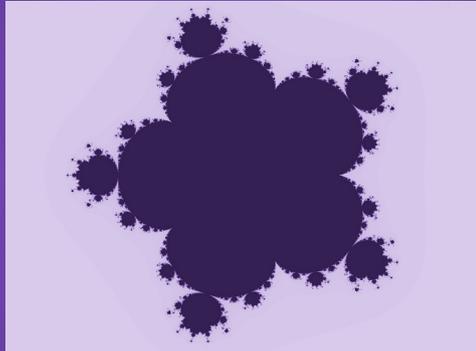
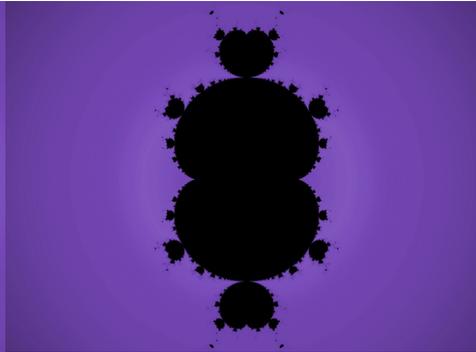


Imagen 1.15

$$Z = Z^4 + C$$

fuentes:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

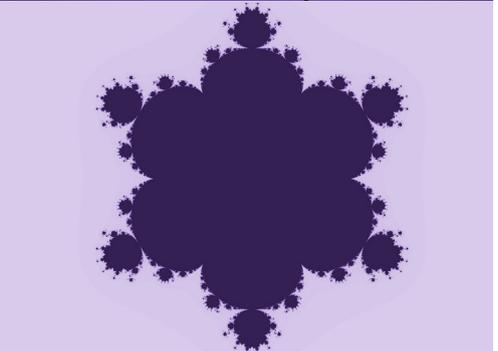
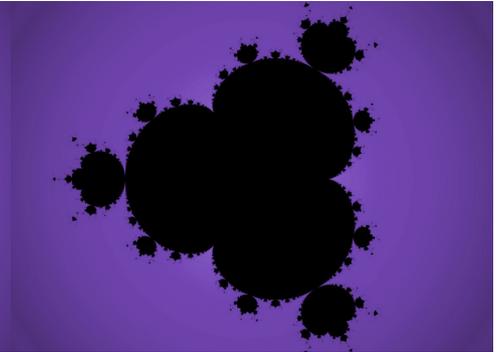


Imagen 1.16

$$Z = Z^5 + C$$

fuentes:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.17

$$Z = Z^6 + C$$

fuentes:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.18

$$Z = Z^7 + C$$

fuentes:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.19

$$Z = Z8 + C$$

fUENTE:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.20

$$Z = Z9 + C$$

fUENTE:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.21

$$Z = Z10 + C$$

fUENTE:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

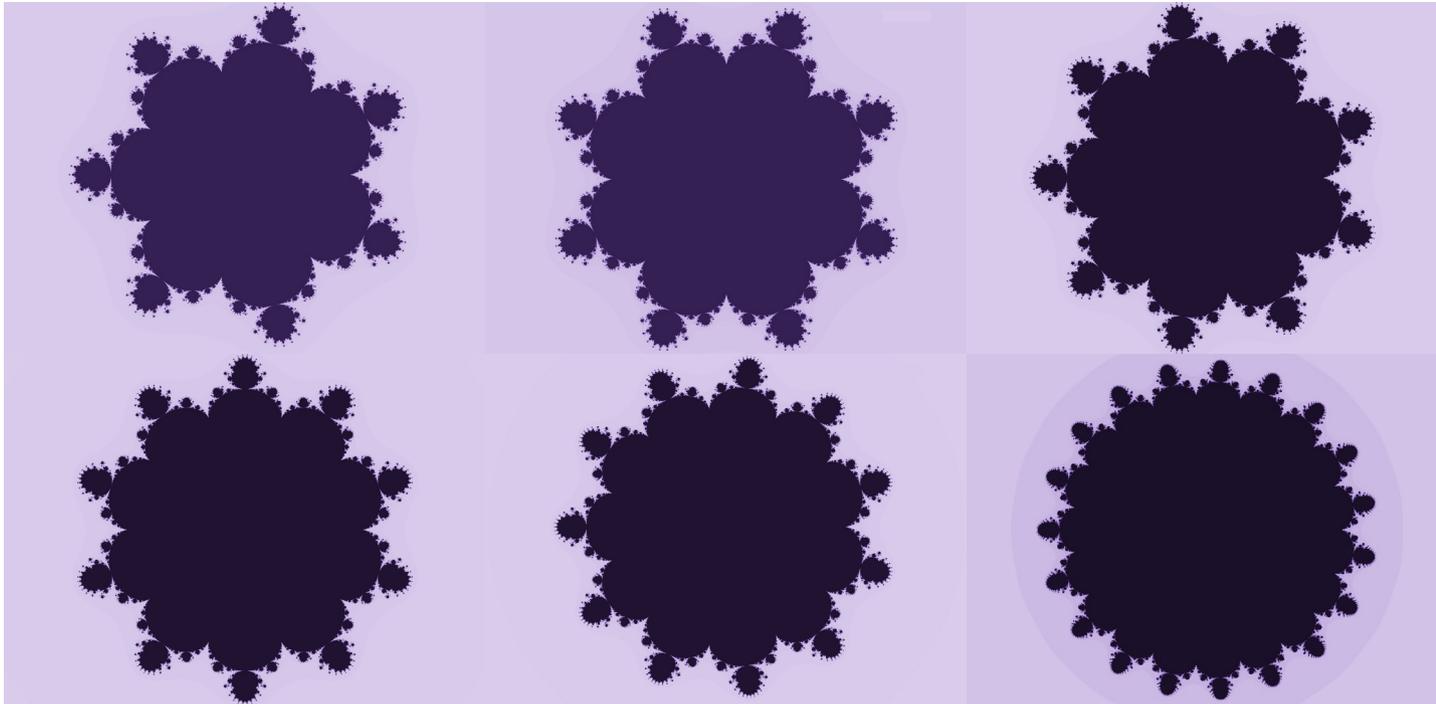


Imagen 1.22

$$Z = Z1 + C$$

fUENTE:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.23

$$Z = Z12 + C$$

fUENTE:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

Imagen 1.24

$$Z = Z20 + C$$

fUENTE:

Josep M. Batlle Ferrer Wikipedia User.

.....

formas complejas de carácter caótico, que aportan a la exploración formal tan buscada por la *Bloby Architecture*<sup>10</sup> de los años 90.

## 1.6. Relecturas: conceptos deleuzianos como base teórica de las teorías de diseño computacional.

Dentro de las teorías provenientes de la termodinámica, las matemáticas y la filosofía que son parte de la base teórica de las TDC, las relecturas de Gilles Deleuze y Félix Guattari (1988) entregan gran material e inspiración para las generaciones de la década del 90, que adoptan las nuevas herramientas computacionales y el lenguaje filosófico para ir en busca de la complejidad.

Para entender el pensamiento de ambos filósofos, es necesario entender los conceptos relevantes que postulan con el fin de abordar la complejidad. Rizoma y **Máquinas Abstractas**, a su vez, de cada concepto se desprenden nociones que repercuten directamente en el desarrollo de las TDC.

**Rizoma** (Deleuze & Guattari, 1977), es un concepto reflexiona sobre la noción de “redes” y nace como una analogía entre la botánica y la complejidad. En biología los rizomas corresponden a los tallos subterráneos de los tubérculos, que crecen de forma horizontal e indefinidamente y cada una de sus raíces dan origen a nuevos frutos que a su vez dan origen a nuevas raíces generando una red infinita (Guimaraes, 2014).

Los autores lo definen a través de 6 principios (imagen 1.25):

- 1 y 2. Conexión y heterogeneidad, en donde cualquier punto puede y debe conectarse con otro (noción de redes).
2. Principio de la multiplicidad, el rizoma posee múltiples entradas singulares y diferenciadas.

.....

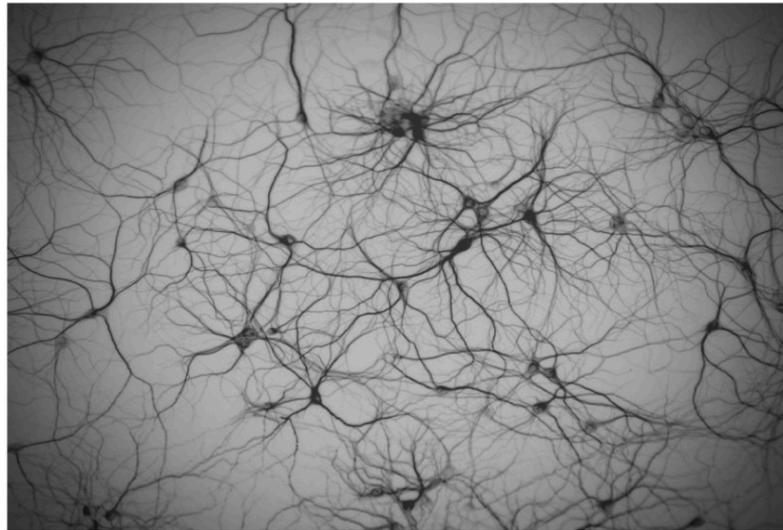
10 Término acuñado por Greg Lynn durante la década del 90, se basó en la función de software que creó Binary Large Objects. Un Blob es una colección de datos binarios almacenados como una sola entidad en un sistema de base de datos (Starkey, 2011).

3. Principio de ruptura a-significante, definiendo la libertad que el rizoma posee al romperse en cualquiera de sus puntos y volver a reanudar su proceso. 5 y 6: Principio de cartografía y de calcomanía, en donde el rizoma puede generar innumerables calcomanías con infinitas reproducciones (Guimaraes, 2014).

El Rizoma crece de una jerarquía centralizada, a diferencia de una ramificación arborescente y apela a la autoorganización (Deleuze & Guattari, 1988), por lo que funciona

## Deleuze and Guattari: Principles for Rhizomatic Thinking

Connections, Heterogeneity



Multiplicity, Asignifying rupture

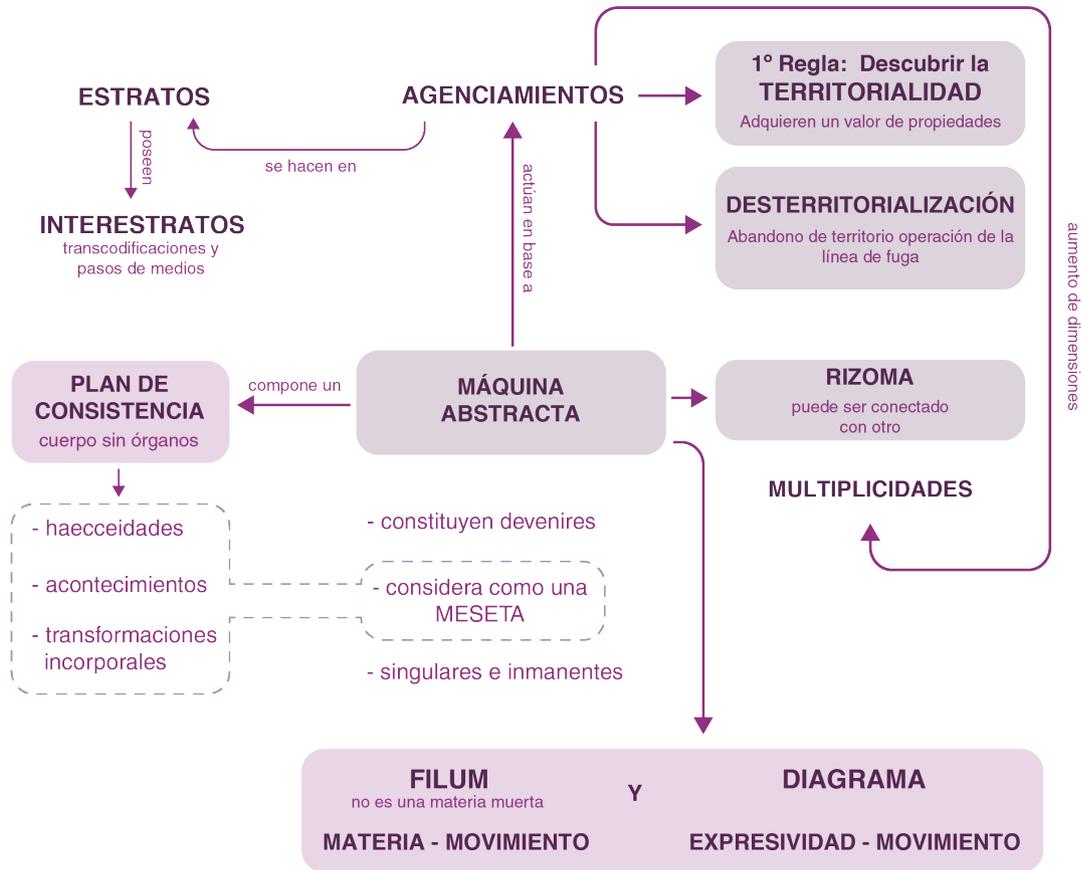
Cartography, Decalcomania

Imagen 1.25 :  
Estructura de un Rizoma.

fuentes :  
Jenny Mackness Wordpress User,  
2014.

como un sistema complejo en sí mismo. Estas características permiten que cualquier movimiento, evolución o afirmación de un elemento puede afectar a otro sin importar su posición en la estructura.

La noción de **Máquinas Abstractas** (Deleuze & Guattari, 1988), se presenta en el libro "Mil Mesetas, Capitalismo y Esquizofrenia". Como se presenta en el diagrama



(imagen 1.26) Actúa en base a agenciamientos<sup>11</sup> que permiten el aumento de las dimensiones de una multiplicidad<sup>12</sup> de carácter rizomático. La primera regla de los agenciamientos se relaciona a el descubrimiento de la territorialidad<sup>13</sup>, definida por .....

11 El Agenciamiento es más cercano a las máquinas abstractas cuando multiplica las ramificaciones. (Deleuze & Guattari, 1988).

12 Multiplicidad entendida como cada una de las singularidades que componen un conjunto homogéneo (principio conexión y heterogeneidad).

13 La territorialización tiene que ver con el tema, territorio o población que estamos tratando.

• **Imagen 1.26**  
 • Diagramas de Relaciones de  
 • Conceptos Deleuzianos.  
 • **fUENTE:**  
 • *Elaboración propia.*

sus cualidades. Cada territorio está expuesto a líneas de fuga o desterritorializaciones que corresponden al abandono del territorio.

La máquina abstracta (MA) no es física ni corpórea, es más bien inmaterial y diagramática, compuesta de fillum y diagrama que recaen en funciones y no formas (programa o prototipos), en expresividad, movimiento y materia no formada que produce **intensidad**<sup>14</sup> como indicadores de resistencia, velocidad, calentamiento, etc. Cuando hablamos de fillum nos referimos a las **singularidades** que conforman la multiplicidad a través de su **diferenciación**. Llevado a un plano más concreto, podemos decir que una ciudad tiene carácter rizomático al tener características singulares como, su cultura, sociedad y territorio, que en conjunto conforman una multiplicidad heterogénea.

La noción de **diagrama** es más cercana al mundo de la arquitectura y su primera función radica en organización y síntesis de la información, describe relaciones entre elementos y pueden tener cualidades generativas (Allen, 1998). Cada diagrama funciona como una MA por sí misma al ser inmaterial y no servir necesariamente para lo que fue creada (Deleuze & Guattari, 1988).

Una MA no representa una realidad, pero si puede crear una nueva, no necesariamente sirve para lo que fue creada, y su belleza radica en el proceso y no en el resultado. Componen un **plan de consistencia o de inmanencia de variación** continua entendido como las diferencias que se remiten a un mismo plano (Deleuze & Guattari, 1988).

Un modelo paramétrico puede entenderse como una MA, comparten características diagramáticas comunes que permiten la construcción de las singularidades para la generación de instancias<sup>15</sup> expuestas a cambios a nivel evolutivo (variaciones) en distintas intensidades, para la producción de un universo cerrado de posibilidades.

.....

14 Intensidad entendida como el todo manifestándose en el todo, pero en distintos grados.

15 Se llama instancia a todo objeto que derive de algún otro. De esta forma, todos los objetos son instancias de algún otro.

Cada una de las aproximaciones de la complejidad al proceso de diseño se logran a través de la extracción del lenguaje aplicado al uso de herramientas tecnológicas que se desarrollan fuertemente a partir de los 60'. Estas permiten facilitar la exploración de la complejidad formal combinando y rompiendo con la simetría<sup>16</sup> establecida por el movimiento modernista. (Lynn, Folds, Bodies and Blobs, 1998).

## 1.7. Discusión

A diario vivimos rodeados de complejidad, incluso somos un sistema complejo con características de agentes simples, dinámicos y llenos de multiplicidades que vivimos en constante evolución, presentando comportamientos caóticos. La complejidad puede ser llevada a cualquier comportamiento en disciplina. En arquitectura, su implementación radica en uso y entendimiento de sistemas dinámicos de características no lineales y maquina sumado a la carga lingüística que esto conlleva.

A través del uso del lenguaje filosófico en un proceso de diseño se exponen los nexos entre los conceptos desde la complejidad y su uso actual en las TDC. A partir del entendimiento de la complejidad, sus conceptos básicos y componentes, es posible llegar a comprender la relevancia que estos adquieren para las TDC. La carga que entrega el aporte lingüístico a la experimentación de la complejidad aplicada a la búsqueda formal, implica la formación de un ente transdisciplinar que comienza adentrarse en disciplinas de carácter disímil en busca de la *diferenciación* geométrica alejándose de las corrientes predecesoras.

Como se menciona anteriormente, el aporte del lenguaje filosófico viene a fomentar la manera de abordar la complejidad desde la morfogénesis, a través de la interacción de componentes simples desde la cual *emerge* una *evolución* o *mutación*, es decir se entiende la metodología generativa como un *sistema complejo* en sí mismo.

.....

16 Lynn define la simetría como la falta de información, es decir, siempre que un sistema pierde información, se vuelve a la simetría (Lynn, Folds, Bodies and Blobs, 1998).

Nociones tan propias del diseño computacional como *evolución*, *intensidad* y *diferenciación* encuentran su origen en las distintas teorías que conforman el paradigma. Durante la década del 90 era posible, encontrar a arquitectos digitales hablando de lo complejo para explicar las nuevas metodologías que les permitieron explorar geometrías no euclidianas.

El concepto de *diagrama*, por ejemplo, que proveniente de la *máquina abstracta*, en arquitectura se transforma en una parte fundamental del proceso de diseño, ya que se encarga de entregar información codificada y sintetizada, esa data próximamente se transforma en los parámetros que son parte de la *máquina abstracta* que permite la *emergencia* de formas *evolutivas*.

La interacción de estos parámetros a través de operaciones o reglas generan cierto grado de incertidumbre que se encuentra presente durante todo el proceso de diseño. La cantidad de información desplegada para la generación formal, es la que entrega las cualidades de diferenciación a una geometría, entre más data, más singular y evolutiva será la exploración formal.

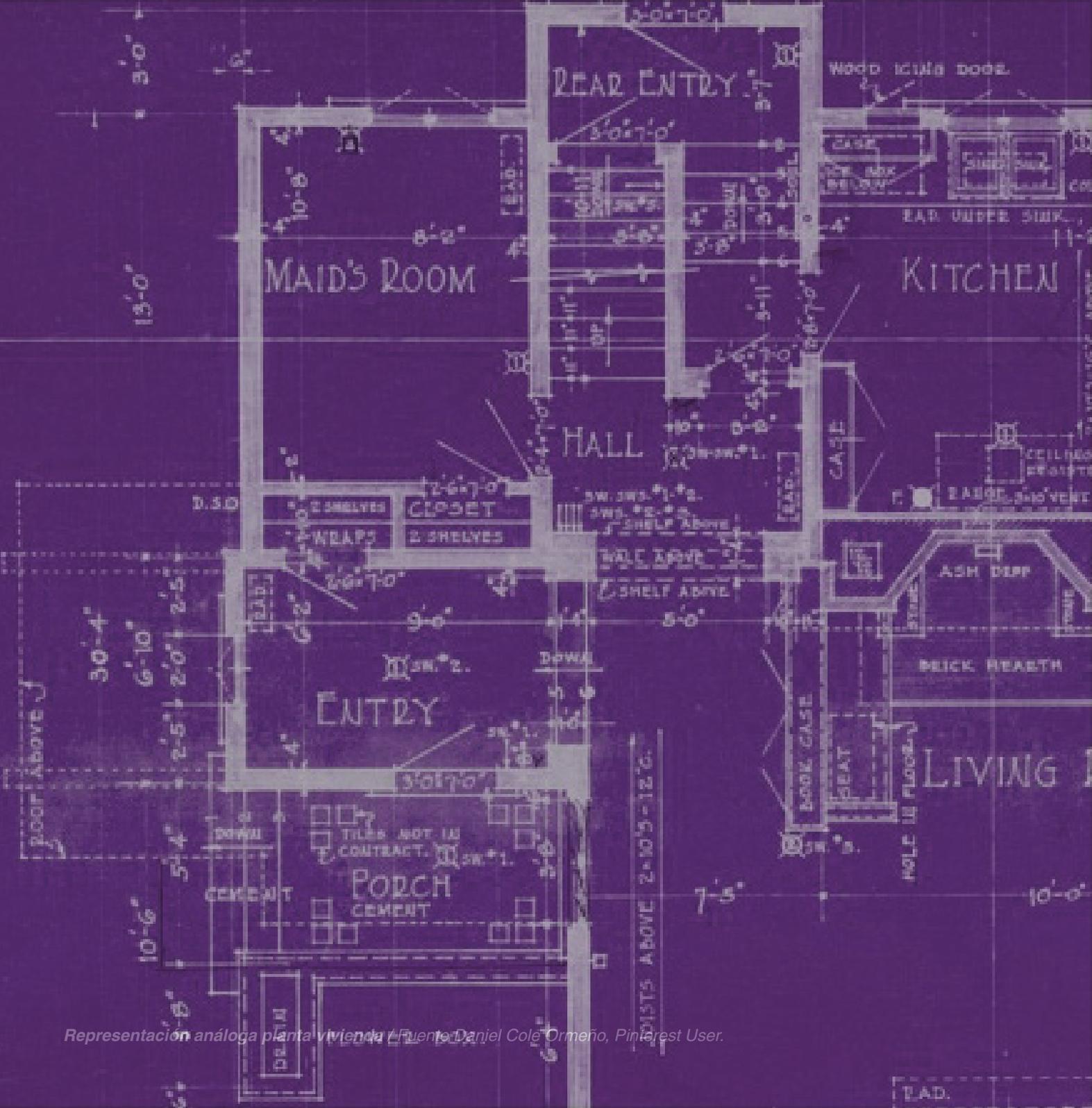
El proceso generativo no es el único que está cargado de complejidad, los métodos de simulación también tienen su carga filosófica. Dentro de la optimización se busca reducir la *incertidumbre* a través de la búsqueda de la mejor instancia de diseño, de aquí emerge la noción de intensidad, entendida como el todo manifestándose en el todo, pero en distintos grados. Tecnologías como Parametric Analysis y TDC como Performance Based Design adquieren este concepto que a través de la medición de indicadores apoya a la futura toma de decisiones.

Estas metodologías tienen un carácter de *dinámicas no lineales*, entendiendo el proceso de diseño como un constante ir y venir alimentado por las simulaciones provenientes desde las iteraciones que buscan la reducción de la incertidumbre y el acercamiento a la mejor alternativa dentro del mundo de posibilidades generado. Esta utilización de lenguaje proveniente desde la filosofía tan arraigada para el dise-

ñador digital intenta evidenciar la convergencia y el impacto que genera el PC en las TDC, permitiendo abrir un mundo de posibilidades formales y complejas de la mano de tecnologías CAD que proliferan hasta el día de hoy.

Es difícil negar que el Paradigma de Complejidad deviene a las Teorías de Diseño Computacional, porque la evidencia es sustancial y explícita. El uso de operaciones de complejidad en la arquitectura ha permitido no solo consolidar geometrías no euclidianas, discontinuas y fractales, sino que también llevarla a estados de reducción de incertidumbre en donde prima la optimización y el potencial de las formas y las máquinas que permiten crearlas y seleccionarlás, en base a una gran base de datos.





Representación análoga planta vivienda Fuente: Daniel Cole Ormeño, Pinterest User.



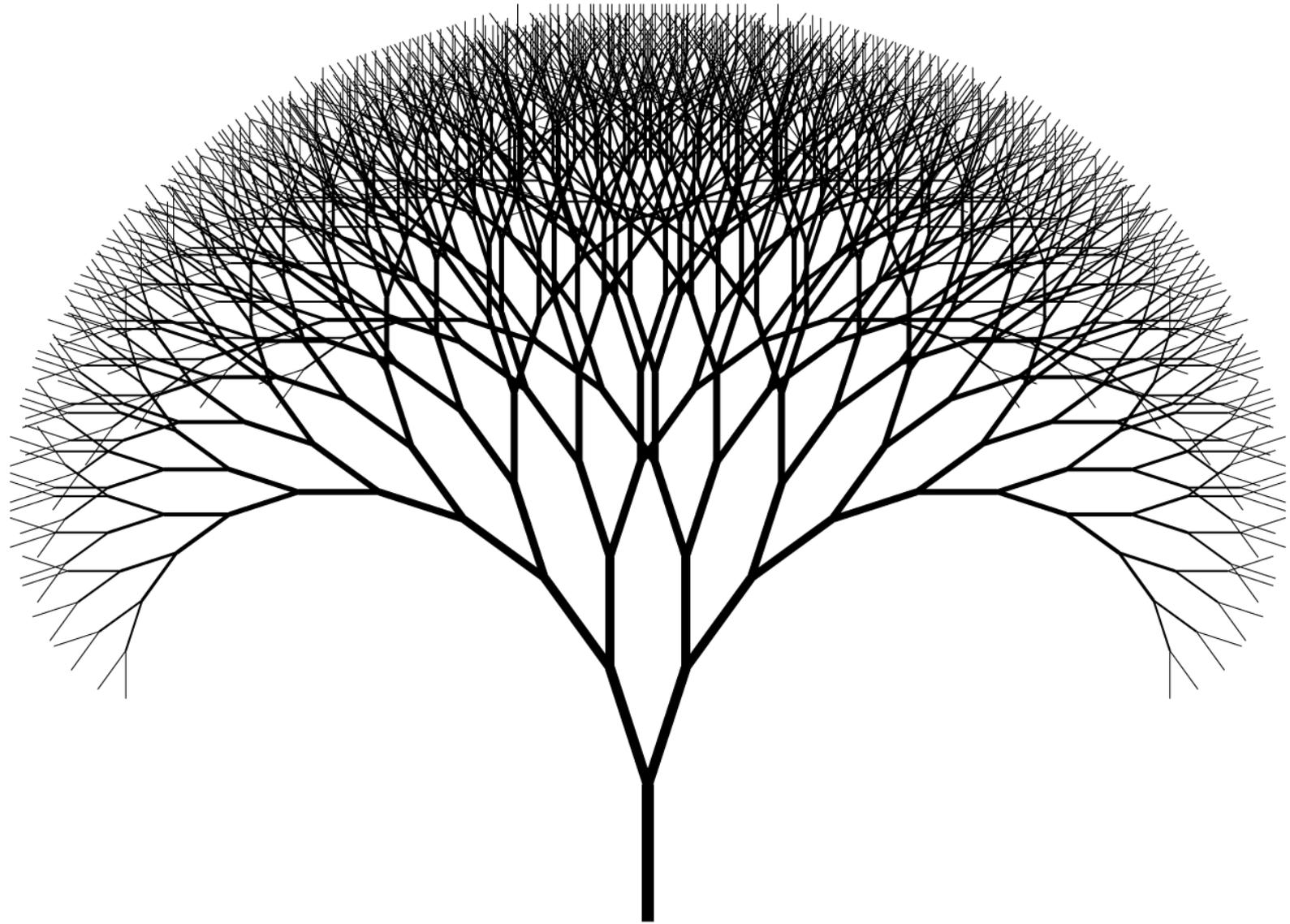
DINING ROOM

BUFFET

VERANDA  
SLAT FLOOR

| 02

DESARROLLOS TECNOLÓGICOS



*Árbol Binario - Fractal / Fuente Georgina Kyte, Pinterest User.*

## 2. desarrollos tecnológicos

### DESARROLLOS TECNOLÓGICOS



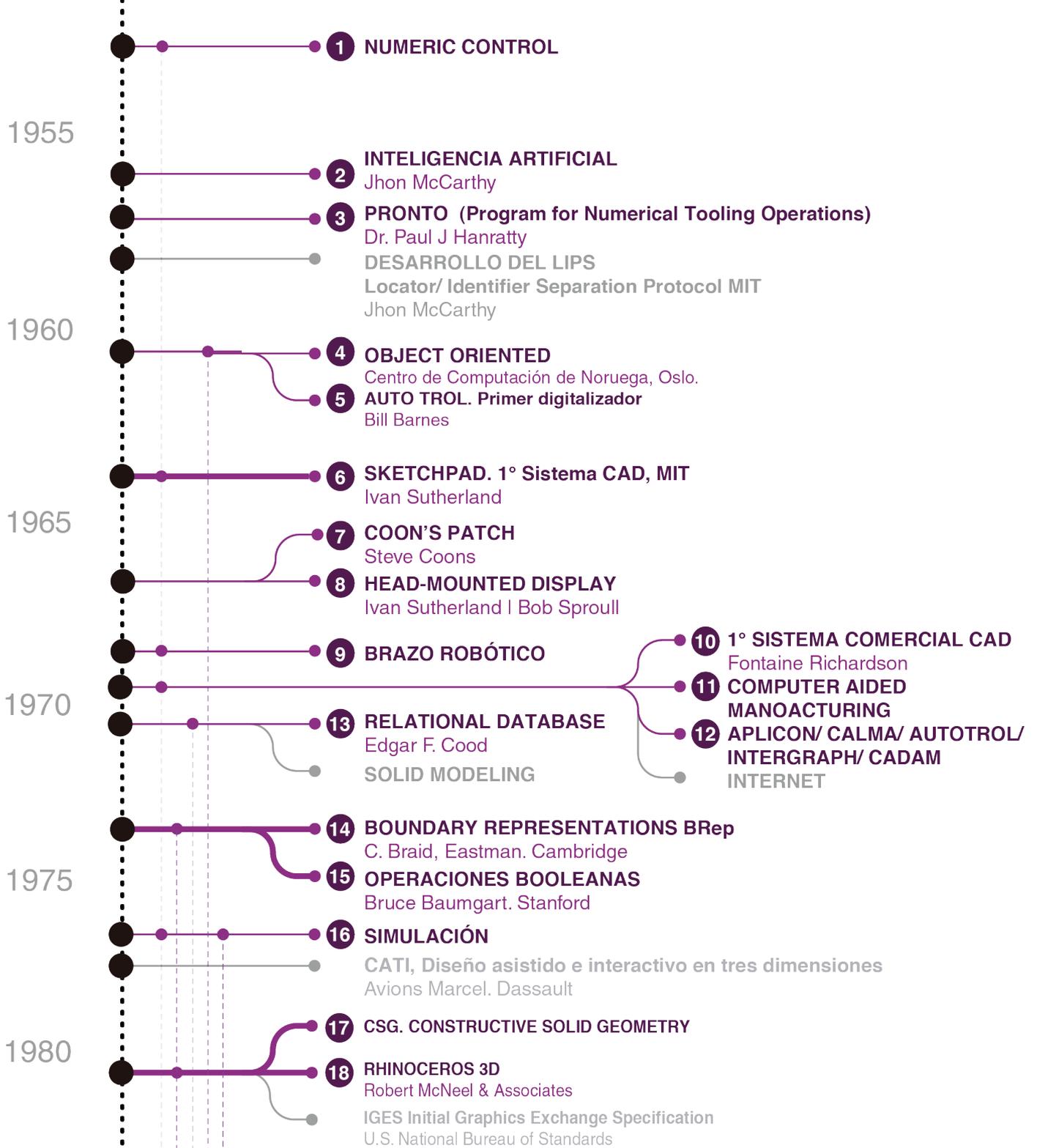
Para entender la evolución de las tecnologías, es necesario rescatar algunos aspectos que tienen que ver con su origen técnico e histórico ¿Cuáles son las tecnologías que permiten desarrollar un sistema CAD?

Para su funcionamiento, CAD depende de tres tipos de tecnologías: de pantalla (gráfica, color, resolución), capacidad del procesador y capacidad del software como perspectivas, líneas escondidas modelos sólidos, etc. (Eastman C. , 1999).

En este capítulo se presentan las raíces tanto técnicas como históricas que permiten la construcción, desarrollo y progreso de una herramienta de diseño asistido por computadora.

En primer lugar, se exponen las tecnologías y operaciones que logran la representación digital geométrica y el manejo y organización de la información para lograrlo.

Por otra parte, se expone la mirada histórica evolutiva de estos sistemas a modo de



entender cómo ha sido su progreso, a partir de la convergencia de tecnologías que tienen un fin común, la eficiencia.

Por último, se explica el desarrollo de las tecnologías CAM, correspondientes a lo que hoy conocemos como Fabricación Digital, sus encuentros con los sistemas CAD, para convertirse en uno de los sistemas más económicamente viables y su impacto en las distintas disciplinas.

## 2.1. Geometric representation

Los inicios de los sistemas de diseño asistido por computadora tienen sus raíces en tecnologías de representación y organización de data tales como: Computational Geometry, Object Oriented, Relational Database, Boundary Representation, Voxels y Constructive Solid Geometry (CSG).

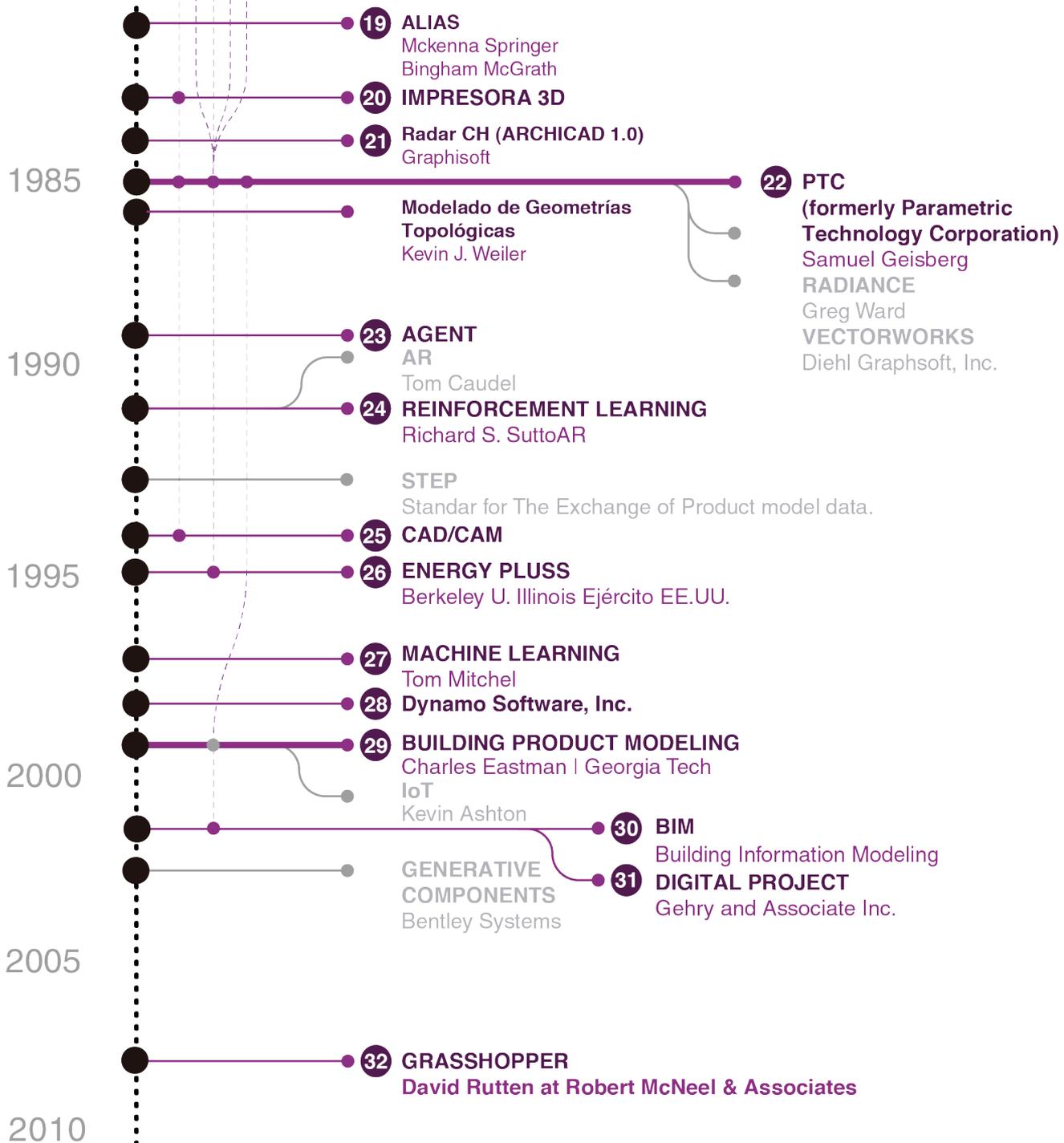
Las Geometrías Computacionales, pertenecen la ciencia de la computación que trabaja con estructuras de datos, algoritmos, y operaciones matemáticas como el álgebra lineal, las geometrías euclidianas y la trigonometría (Kortenkamp, 1999).

Object Oriented (Nygaard & Dahl, 1962) es un paradigma de programación (punto 4 imagen 2.1) en el que los programadores no solo definen el tipo de datos (variables), sino también las funciones (tipos de operadores) que se pueden aplicar a la base de datos objetos (Nygaard & Dahl, 1978).

Por ejemplo, los humanos tenemos data (altura, color de ojos, talla, etc.) y tenemos funcionalidad (comer, dormir, correr), este enlace de data y función genera una plantilla, en este caso una plantilla para hacer un ser humano. Esta clase de organización de datos podemos verla gráficamente en el esquema de la imagen 2.2.

Relational Database (Cood, 1970) es el modelo más utilizado para implementar base de datos ya planificas, nace en 1969 en los laboratorios de IBM (punto 13 imagen 2.1) y se define como un conjunto de tablas desde las cuales se reensamblan y or-

- Imagen 2.1
- Desarrollos Tecnológicos
- Timeline .
- Fuente:
- *Elaboración propia.*



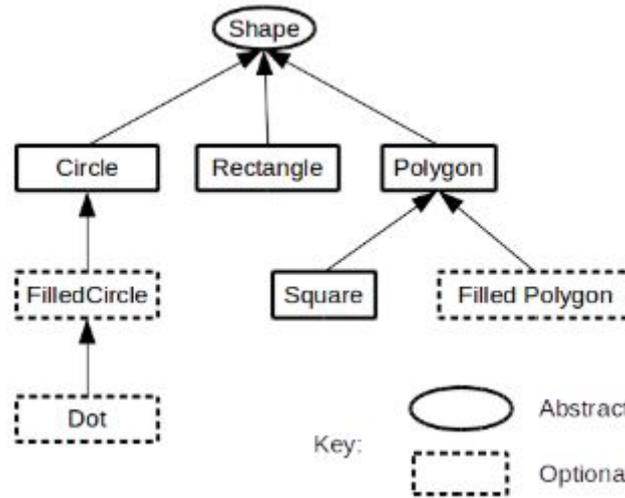


Imagen 2.2  
 Diagrama Organización Object  
 Oriented.

fUENTE:  
 Charles Scalfani, 2016.

organizan datos.

Cood propuso pasar de almacenar datos de estructuras jerárquicas, a organizar datos en tablas a partir de filas y columnas. Cada tabla contiene una o más categorías de datos en columnas denominadas atributos (Rouse & Biscobing, 2006).

El ejemplo de la imagen 2.3 muestra la organización de los datos extraídos de estu-

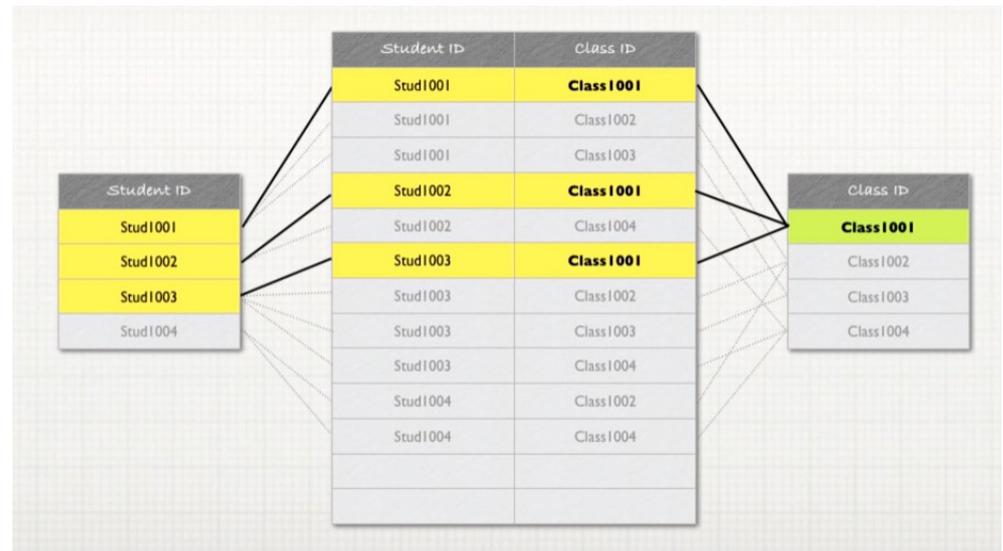


Imagen 2.3  
 Organización de Tablas.  
 Relational Database.

fUENTE:  
 Relational Database Concepts,  
 Prescott Computer  
 Guy YouTube User.

diantes y clases en tablas, específicamente filas y columnas, de esta manera podemos relacionar a cada estudiante con la o las clases a las cuales deban asistir.

La visualización de las geometrías también es relevante para el progreso de los sistemas CAD. Boundary Representations o BRep (punto 14 imagen 2.1) es definida por Eastman (1999) como sólidos representados por los límites de sus superficies, Rossignac y Requicha (1985) agregan que sus nodos representan caras, aristas y

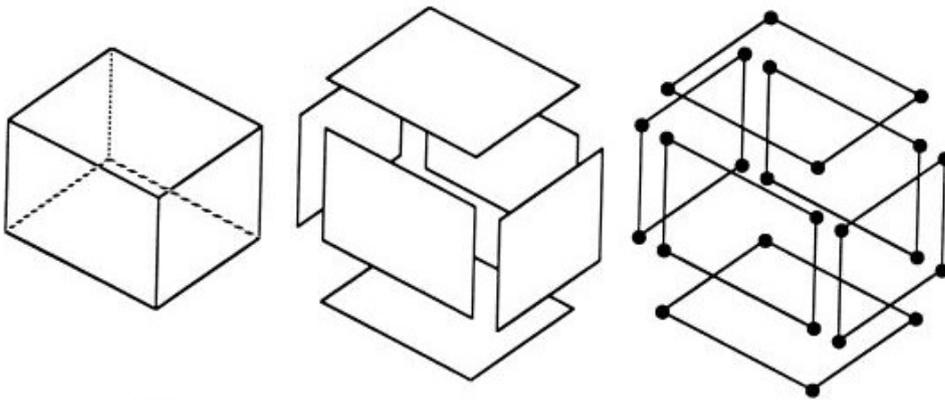


Imagen 2.4  
Boundary Representation –  
BRep  
fuente:  
*Introduction to CAD: Part I.*

vértices y sus arcos representan relaciones de adyacencia e incidencia. Estas características con respecto a la visualización pueden comprobarse en la imagen 2.4.

Con respecto a la autoría de la creación de Boundary Representation la innovación se le atribuye a I. C. Braid y C. Eastman, pero existen distintos autores que realizaron trabajos similares en paralelo, entre estos: Bruce Baumgart en la Universidad de Stanford, Mantyla<sup>17</sup> y Kimura en la Universidad de Tokio. Los BRep se volvieron un producto comercial en 1980 y actualmente están disponibles en todos los sistemas

.....

17 Mantyla también tiene un desarrollo llamado GWB – Geometric Workbench, correspondiente a un modelador sólido experimental, utiliza operadores de Euler para resolver el problema de integridad lo que conduce a una estructura general y una separación entre los pasos geométricos y topológicos (Mäntylä, 1983).

CAD desarrollados para AEC<sup>18</sup> (Eastman, 1999).

Según Eastman en su libro *Building Product Models* (1999) las propiedades de los BRep consisten en:

- Todas las aristas deben estar conectadas y cada borde debe coincidir con otro en alguna de sus caras.
- Las caras deben tener una orientación consistente.
- Las caras no pueden auto intersectarse.

Árboles cuyos nodos internos representan operaciones booleanas (punto 15 imagen 2.1) (Baumgart, 1973), es decir, a partir de estas operaciones permite crear geometrías complejas a partir de la combinación de formas primitivas simples, así se define Constructive Solid Geometry (punto 17 imagen 2.1) (Mäntylä, 1980). a diferencia de los BRep, CSG funciona como método para editar la forma. Los sólidos primitivos pueden ser bloques, cilindros, esferas, conos y toroides. Las operaciones booleanas pueden restar (diferencia), unir e interceptar las geometrías como se ve en la imagen 2.5.

Los bloques que se combinan pueden ser escalados, moverse o rotarse (transformaciones lineales) según corresponda. Y como se mencionó anteriormente se trabajan .....

18 Arquitectura. Ingeniería v Construcción.

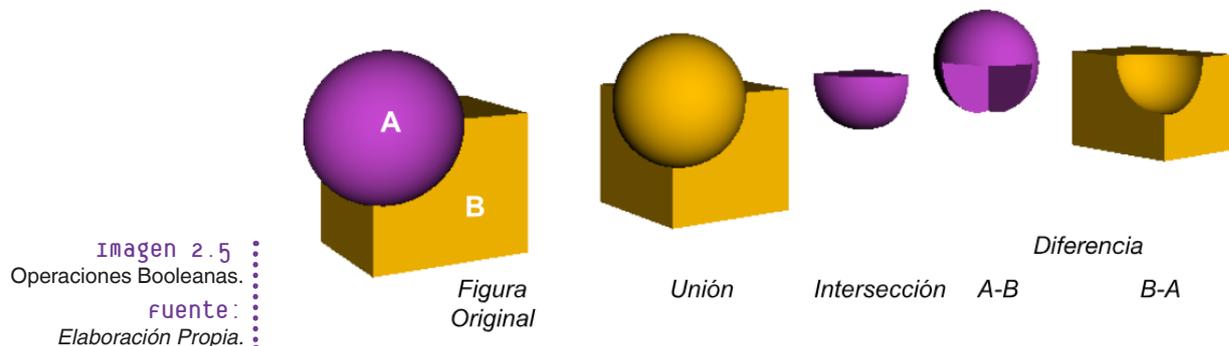


Imagen 2.5 :  
Operaciones Booleanas.  
fuente:  
Elaboración Propia.



encuentran en pos de definir la topología resultante del modelo (Ramos & Fernández, 2011).

Un *voxel* o *volume pixel*, es el equivalente tridimensional de un píxel y el elemento distinguible más pequeño de una geometría en 3D, su función radica en la creación de representaciones detalladas de objetos complejos. Tienen cierta facilidad para representar geometrías regulares que no se rellenan homogéneamente y se utilizan para la visualización y el análisis de datos científicos (Loki Software & Hall, 2001).

Estas tecnologías primarias aportan al progreso de los sistemas CAD hasta la actualidad. Por ejemplo, *Constructive Solid Geometry es la base de Parametric Modeling PM* (punto 22 imagen 2.1), ya que esta tecnología permite actualizar el árbol binario. Generative Components (Aish, 2003) es uno de los primeros softwares que implementa PM en arquitectura, su funcionamiento usa la lógica Object Oriented para representar instancias de los objetos que a su vez son representados en CSG.

## 2.2. evolución del CAD



Imagen 2.7 :  
Sutherland y Sketchpad.  
Fuente :  
History-computer.

El desarrollo de los sistemas de Computer Aided Design (CAD) generó gran impacto en la eficiencia de disciplinas como la arquitectura y la ingeniería, estas permitieron disminuir los tiempos enfocados a la manufactura de dibujos manuales.

Sus inicios remontan a la década del 60 con los trabajos de Iván Sutherland (1963) y Patrick Hanratty (1957), quienes fueron los pioneros en el desarrollo de estos sistemas. Ambos trabajaron en procesos paralelos y para diferentes destinos.

En 1963 Sutherland crea “Sketchpad” (punto 6 imagen 2.1), proyecto de tesis doctoral realizado en el MIT, la confección de dibujos se realizaba través de un lápiz óptico sobre la pantalla (imagen 2.7), además admitía que la producción de dibujos fueran duplicados, manipulados y almacenados (Eastman, 1999).

Por otro lado Hanratty, conocido como el padre del CAD/CAM por sus aportes en la convergencia de ambas tecnologías, crea en 1957 crea el primer sistema de programación de control numérico de características comerciales “PRONTO”<sup>19</sup> (punto 3 imagen 2.1). En 1961 crea la herramienta DAC<sup>20</sup> para General Motors Research Laboratories (Bozdoc, 1999).

Computer Vision en 1969 crea el primer sistema comercial CAD (punto 10 imagen 2.1), el que durante los siguientes años fue impulsado por las compañías APPLICON (primeros fabricantes de sistemas CAD), CALMA Company, AUTOTROL<sup>21</sup>, INTERGRAPH y CADAM<sup>22</sup> (punto 12 imagen 2.1). La masificación de estas tecnologías se produce entre los 80 y 90 con la creación del computador personal<sup>23</sup>, lo que conduce a la formación de compañías dedicadas a su desarrollo, como Autodesk y VersaCAD<sup>24</sup>, Summagraphics y Microstation. (Eastman, 1999).

.....

- 19 Program for Numerical Tooling Operations.
- 20 Diseño automatizado por computadora.
- 21 Fundada en 1962 con la creación del primer digitalizador manual en manos de Bill Barnes.
- 22 Computer Augmented Drafting and Manufacturing.
- 23 En 1981 IBM crea el primer computador personal y en 1982 se une Macintosh.
- 24 Versatile Computer Aided Design Software.

Sutherland desarrolló además tecnologías como la creación del primer algoritmo que elimina las líneas ocultas en los dibujos 3D, creación relevante para la representación de modelos CAD (Dalakov, 2018). En 1967 en conjunto a su alumno Bob Sproull reinventa un sistema de grabación basado en el montaje de una cámara en la cabeza de un piloto de helicóptero en movimiento. Head-Moving Display (punto 8, imagen 2.1) permitió ver y navegar a través de entornos 3D por computadora, este fue uno de los primeros avances de AR y VR<sup>25</sup> (Eastman, 1999).

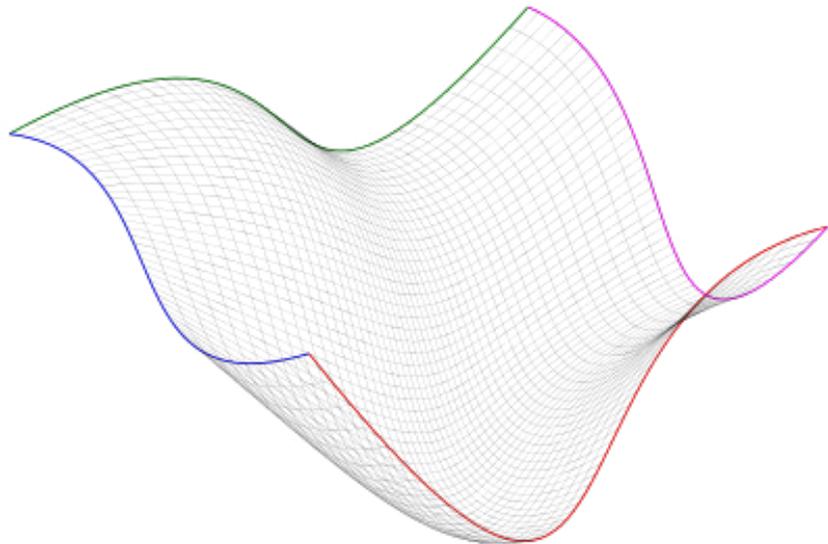


Imagen 2.8  
Coon's Patch.

Fuente:  
Kumar, R. Quora User, 2016.

En algunas áreas como en la de manufactura de láminas de metal para automóviles, la representación de dibujos para la representación de superficies no fue eficiente. Esta falencia la suple Steve Coons en 1966 con la creación de las *Coon's Patch*<sup>26</sup> (imagen 2.8) desarrolladas en paralelo a las tecnologías de diseño asistido por computadora (punto 7, imagen 2.1), benefician la representación de superficies para las distintas disciplinas y el desarrollo del CAD/CAM (Eastman, 1999).

.....  
25 AR corresponde a Realidad Aumentada y VR a Realidad Virtual

26 Las Coon's Patch corresponden a un tipo de parametrización para unir superficies suavemente. Se genera mediante la interpolación de cuatro curvas de borde.

En 1985 nace la compañía PTC<sup>27</sup> que desarrolla el primer software de modelado paramétrico llamado PRO / Engineer, que era capaz de reconocer un cambio en un parámetro del diseño y ajustar la forma automáticamente (Geisberg, 1988). Las aplicaciones de herramientas de modelado paramétrico en arquitectura llegaron más tarde de la mano de CATIA en 1998, pero no fue hasta el 2003 que se introduce un programa diseñado para específicamente para arquitectura<sup>28</sup>.

Los avances en cuanto a representación e interfaces divergieron en distintas ramas, así encontramos softwares especializados en: representación, simulación, modelación, entre otros, que han permitido además de complejizar las geometrías a partir de la exploración, disminuir los errores de calibración al momento de integrar las distintas disciplinas en la construcción.

El progreso en las tecnologías CAD han permitido la creación de interfaces de metodologías BIM<sup>29</sup> (punto 30 y 21 imagen 2.1) reconocidos como modelos de integración<sup>30</sup> (Bernal, 2015), como Archicad de Graphisoft (1984) y Revit de Autodesk (2002), integran la información de las disciplinas AEC a partir de un único modelo cargado de información. Estas interfaces generan modelos 3D de información, ya sea de materiales constructivos, costos, dimensiones, etc (Eastman, et al., 2011).

No solo los sistemas CAD han progresado ágilmente en los últimos 50 años, sino también las tecnologías CAM que en principio se forjó de forma paralela, hasta converger en la década del 90 y conformar las tecnologías CAD/CAM que son parte primordial de los métodos de fabricación digital. A continuación, se hará un repaso por su proceso evolutivo a nivel digital.

.....

27 Parametric Tecnology Corporation creada por Samuel Geisberg.

28 Generative Components.

29 Building Information Modeling.

30 No solo integra información si no también funciona como herramienta de representación y simulación.

## 2.3. evolución del CAM: un encuentro con las tecnologías CAD

La fabricación asistida por computador CAM se refiere al uso de herramientas de control numérico, para la fabricación de piezas, prototipos, etc. Utilizan un código<sup>31</sup> (Código G) para la impulsión de las máquinas, tomado desde los modelos CAD para crear las instrucciones que controlen los movimientos de la herramienta a utilizar. Su objetivo radica en la eficiencia productiva y de fabricación (Bethany, 2018).

Las tecnologías CAM (imagen 2.9 y 2.10) remontan sus raíces a 1947 post segunda guerra mundial, de la mano de John T. Parsons, quien crea una máquina de control numérico (NC) manipulada por instrucciones codificadas en una tarjeta perforada, que es la base de las máquinas CNC (computer control numeric machine) esta tecnología fue desarrollada gracias al apoyo del Ejército de EE.UU. y MIT (Gutiérrez de Rueda, 2017), con el fin de contribuir a la eficiencia de la industria.

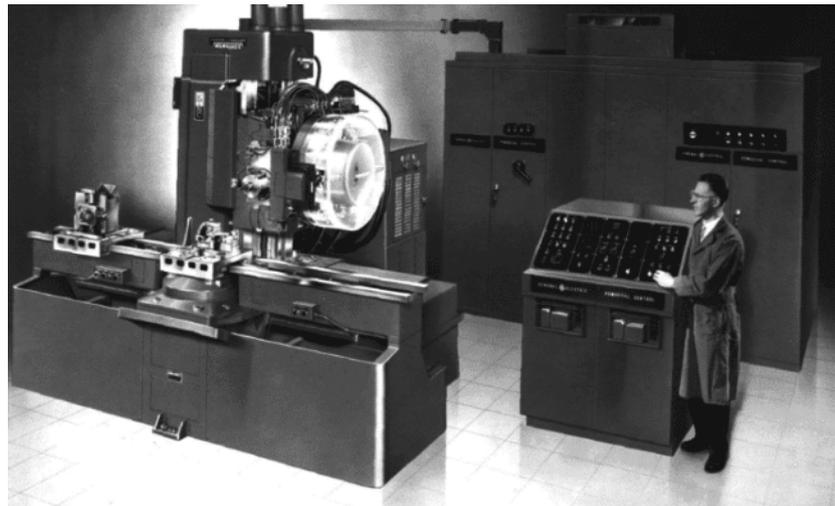
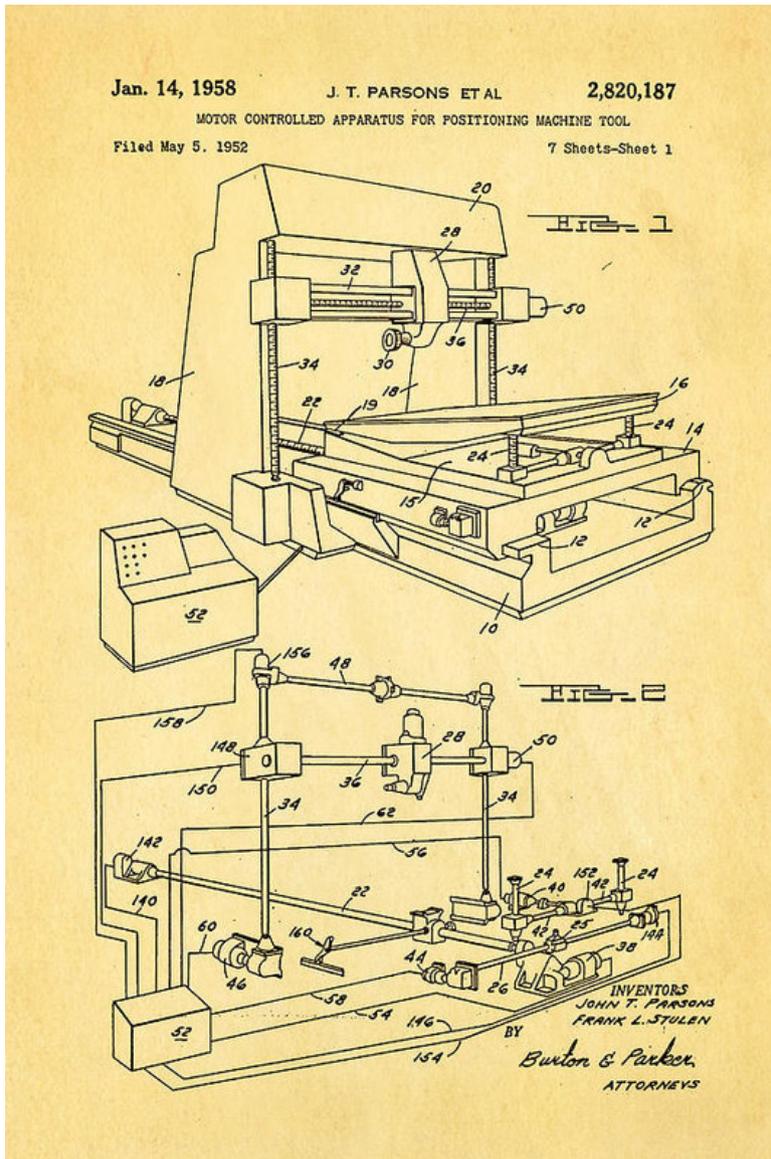


Imagen 2.9 :  
Primer Prototipo de NC.  
fuente:  
Cms.

.....  
31 “Código G”, es un lenguaje de programación que indica a las máquinas CNC donde y como moverse (Victoria, 2016).

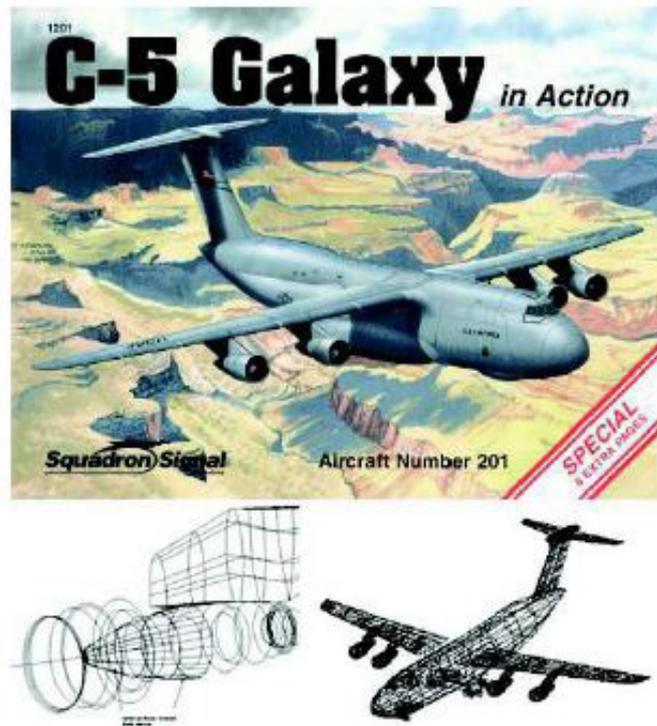


• Imagen 2.10  
• Numeric Control Machine J. T.  
• Parsons.  
• Fuente:  
• Fineartamerica

En 1957 Patrick Hanratty crea el primer acercamiento al diálogo entre tecnologías CAD/CAM, el software PRONTO, lenguaje de programación comercial (American Machinist, 1998) de numeric control para máquinas utilizadas en la producción y ma-

nufactura. Codificó la metodología de las tarjetas perforadas a modo de programación para dar las instrucciones digitales que el controlador de la máquina necesitaba para operar (Weisberg, 2008).

A mediados de los 60 CAM y CAD consolidan su convergencia para convertirse en lo que es hoy una de las mayores fuerzas tecnológicas y económicas. Ahora era posible hacer uso de la representación digital en tres dimensiones como lenguaje codificado para luego ser transferido a máquinas CNC. El primer diálogo entre ambas tecnologías se le atribuye al Bombardero Galaxy<sup>32</sup> (imagen 25) entre 1968-1975, lo que fue un punto de partida para el posterior desarrollo industrial (American Machinist, 1998).



.....  
 32 De la empresa Lockheed, del ejército de los EE.UU.

CAD/CAM actualmente además de entregar cierto control sobre los procesos al diseñador, logró la reducción de gastos, el aumento en la productividad y la extensión del acceso a las técnicas y herramientas. Algunas de estos instrumentos CNC incluyen: **corte láser**<sup>33</sup> (1965) que tuvo sus primeras aplicaciones en perforaciones de diamantes, **corte plasma**<sup>34</sup>(1959) su uso radica en el corte de placas de acero inoxidable y aluminio (0,5 a 6 in), **corte por chorro de agua**<sup>35</sup> (1980) utilizado para materiales que no pueden ser afectados por el calor y **fresado**<sup>36</sup> (Bethany, 2018).

Las innovaciones CAD/CAM siguen evolucionando al día de hoy acercando cada vez más al arquitecto al proceso de producción, expandiendo de cierta manera el campo, incorporando nuevas metodologías y convergiendo tecnologías con fines comunes como la optimización y eficiencia en los procesos de diseño desde la generación de la forma hasta la fabricación en los proyectos arquitectónicos.

## 2.4. Discusión

Los desarrollos tecnológicos en general han cambiado nuestra forma de vida, desde el ocio hasta la comunicación. La arquitectura no quedó exenta del impacto que trajo consigo la digitalización. Procesos más expeditos, automatización, representación digital, realidad aumentada, optimización son solo algunas de las aplicaciones de la tecnología en la arquitectura computacional.

El arraigo de la tecnología a la arquitectura comprendió un período de 20 años teniendo su primer impulso con la invención del computador personal. Innovaciones como Sketchpad permiten que el diseñador pueda obtener nuevas técnicas de representación, adquiriendo una mayor eficiencia en los tiempos de producción de documenta-  
.....

33 Proviene del acrónimo inglés laser “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”. Confeccionada por Western Electric Engineering Research Center en 1965.

34 Creado por Union Carbide Corp a fines de la década del 50 (Colt, 2014).

35 Introducido por Flow International en 1980.

36 La impresora 3D no se clasifica como CNC por su proceso aditivo (Bethany, 2018).

ción que antes se materializaba a mano.

La masificación de las técnicas digitales en principio en ingeniería, se produce durante la década del 80 gracias a la llegada del computador personal, hasta ahí la eficiencia del uso de estas herramientas era solo vista por la industria aeronáutica, financiada por el ejército para fines bélicos. Optimización de curvas complejas para aviones de guerra, armamento, etc.

En arquitectura la entrada de estas tecnologías se dio en principio como mecanismo de representación y documentación que facilitó la producción de material que antes era trabajado de manera manual. Los sistemas CAD sólo eran vistos como medios de dibujo en donde el diseñador podía ahorrar gran parte de tiempo invertido en la producción de plantas, elevaciones y secciones propias de la arquitectura, siendo herramientas de tímida intervención.

Las técnicas de representación comenzaron a cambiar y a adquirir cierta sofisticación, el diseñador tiende a alejarse de las técnicas manuales disminuyendo así el margen de error existente en estos documentos, ahora era posible editar los trazos logrando mayor exactitud. Este cambio en las técnicas de representación causa polémicas dentro del mundo arquitectónico.

Habiendo transcurrido tiempo, las técnicas de representación comenzaron a cambiar y a adquirir cierta sofisticación, el diseñador tiende a alejarse de las técnicas manuales evitando así el margen de error existente en estos documentos, ahora era posible editar los trazos logrando mayor exactitud. Este cambio en las técnicas de representación causa polémicas dentro del mundo arquitectónico.

Detractores del diseño asistido por computador afirman que las formas resultantes de la gestualidad manual tienen un mayor arraigo con el mundo en el que habitamos, siendo la primera técnica de representación aprendida en etapas tempranas (Llopis, 2013) y que la cuantificación fría y los algoritmos matemáticos no logran establecer un vínculo experiencial con el usuario.

Conforme transcurría el tiempo, los sistemas CAD fueron adquiriendo fuerza, los di-

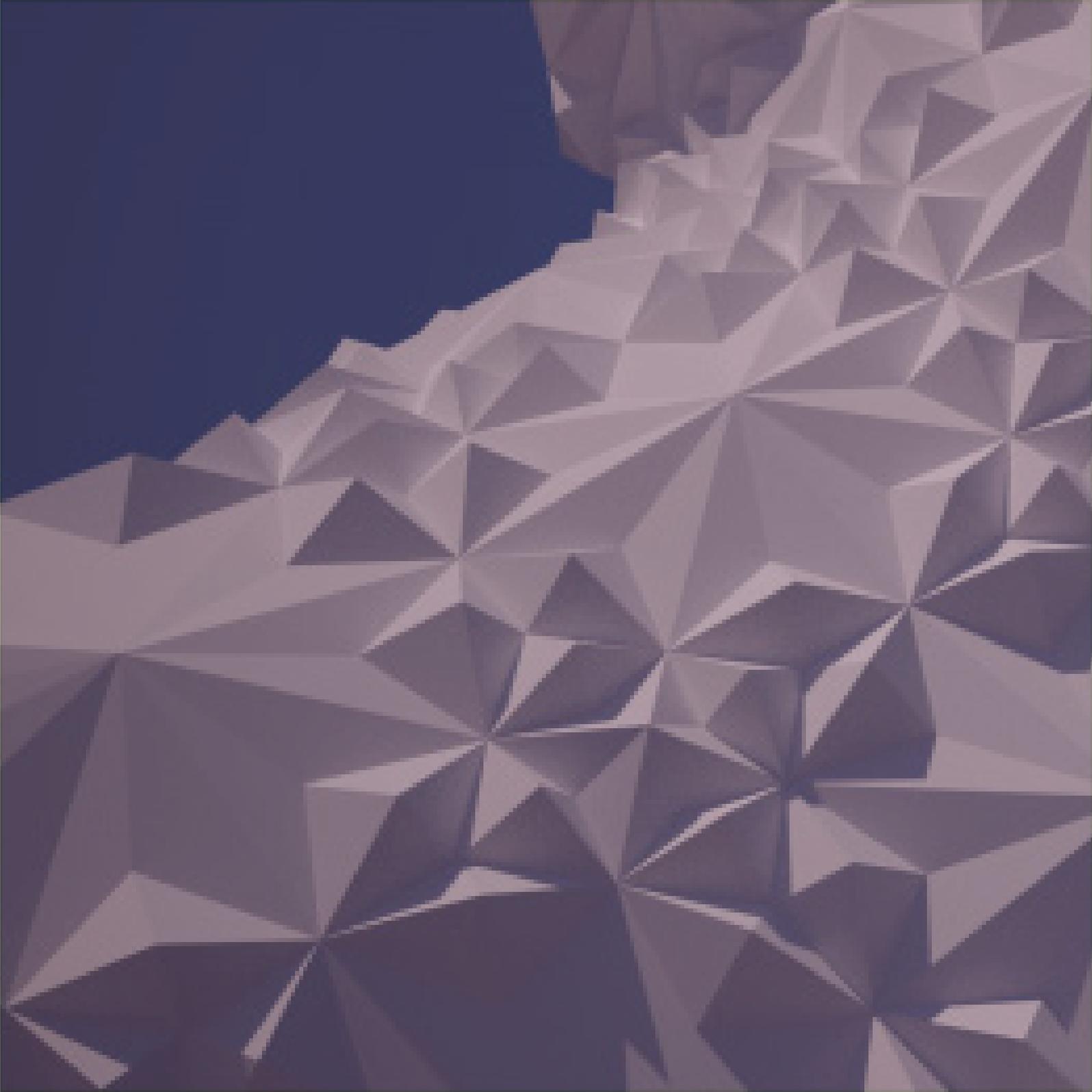
señadores mejoraron en las técnicas de manejo de estas tecnologías aplicándolas en la construcción de geometrías complejas y superficies discontinuas como los diagramas catastróficos de Thom. El computador dejó de ser un medio y pasó a ser parte de la metodología.

Programas de modelado paramétrico como PTC, CATIA y programas de representación 3D como ALIAS marcaban a escena de la complejidad y la exploración formal que sumado a la integración de sistemas CAM da inicio a la experimentar través del prototipado la factibilidad de la consolidación de esta llamada complejidad geométrica.

El proceso de producción converge con el proceso de diseño acercando al diseñador cada vez más a la manufactura de estas geometrías logrando y experimentando nuevas técnicas de producción e innovación material para su consolidación experimentando una nueva expansión del campo disciplinar que hoy se conoce como Fabricación Digital.

Las técnicas digitales están primando por sobre las manuales que se encuentran en proceso de extinción, los más nostálgicos generan una hibridación de técnicas permitiendo la organización de ideas primarias en el papel. En la actualidad, las escuelas de arquitectura se encuentran fomentando el uso de técnicas digitales desde etapas tempranas. Las herramientas CAD llegaron para quedarse y aportar en la exploración y optimización a través del manejo de la información primando la cuantificación manteniendo cierto control sobre técnicas en donde predomina la incertidumbre.

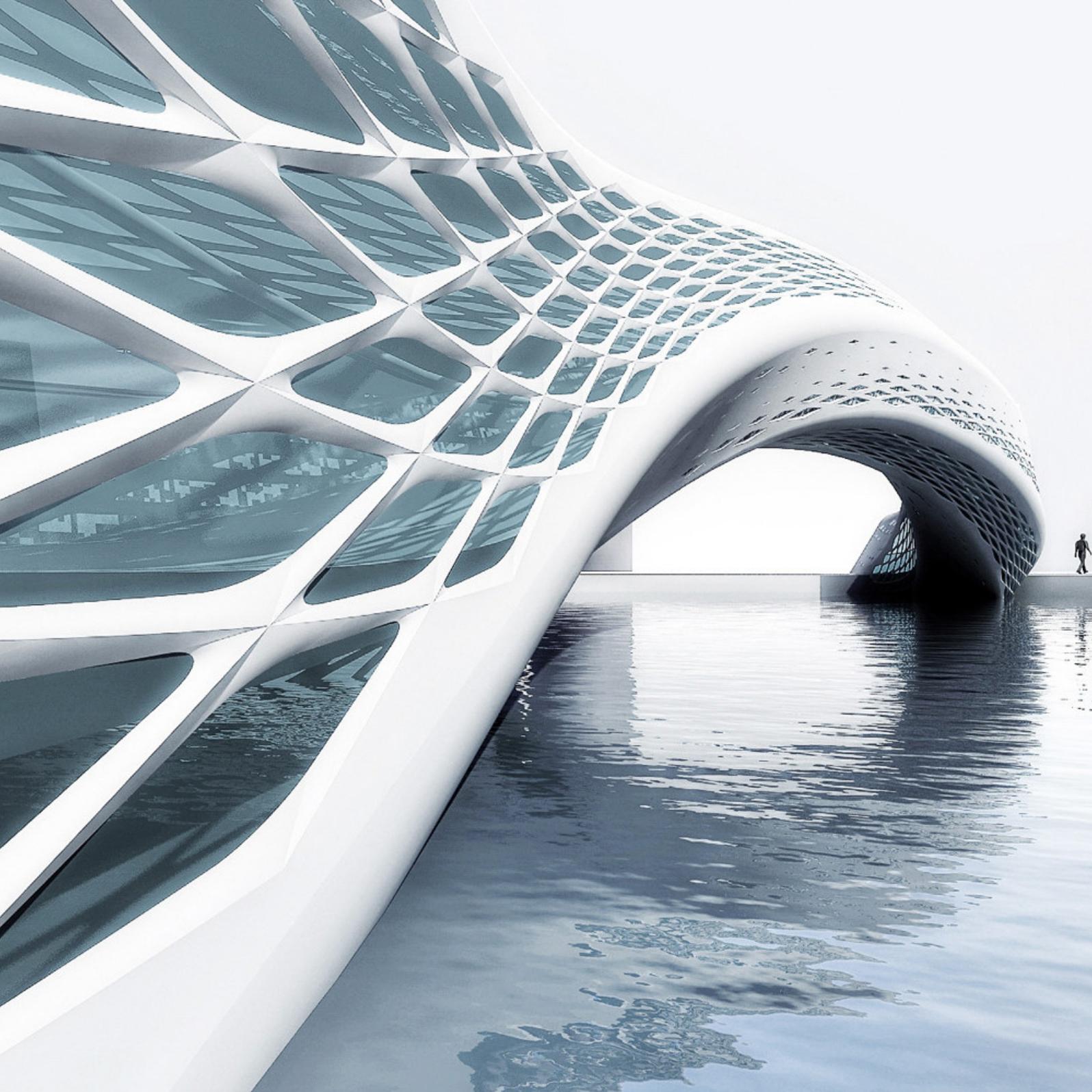






| 03

tecnologías CAD en la  
arquitectura, el proceso de  
diseño y la academia



### 3. tecnologías CAD en la Arquitectura, el proceso de diseño y la Academia

Tecnologías



La adopción de tecnologías CAD ha sido controversial en la arquitectura, ya que genera un cambio de perspectiva progresivo en el proceso de diseño, que inicia con la adopción tecnologías provenientes desde la disciplina ingenieril que han sido utilizadas para la eficiencia tanto en la generación formal (en principio dibujos 2D), como en su consolidación, permitiendo cada vez más reducir el grado de incertidumbre en los proyectos de arquitectura, es decir, disminuyendo los márgenes de error en el momento de traspasar de la representación a la construcción.

La popularización de las herramientas CAD se debe en primer lugar la creación del computador personal durante la década del 80, y a la eficiencia en la reproducción de dibujos en las distintas disciplinas. En la arquitectura se ha llegado a cuestionar la autoría de los diseños creados haciendo uso de estas tecnologías postulando que gran parte del diseño proviene desde la máquina (Ortega, 2013).

La exploración de formas complejas ha sido el detonante del arraigo de estas tecnologías en un selecto grupo de arquitectos durante los 90, entre estos, Greg Lynn, Reiser + Unemoto, O.C.E.A.N, FOA, etc. Las tecnologías CAD entregan la flexibilidad de la exploración, alejándose de las formas euclidianas trabajadas fielmente en el movimiento modernista.

Para entender el proceso de incorporación de herramientas CAD en la arquitectura,

se analizan tres momentos en el tiempo, desde su llegada hasta la adopción en la academia, encontrándonos con momentos de documentación para generar la **habilidad** necesaria para el manejo e incorporación de las plataformas digitales; **automatización**, como tiempo en donde las tecnologías se complementan con el proceso de diseño (Andía, 2001) y **consolidación**, que dice de la consumación de estas nuevas metodologías en la academia.

Como forma de entender las operaciones realizadas en arquitectura con el fin de consolidar un proyecto de arquitectura, se presentan diferentes ejemplos digitales que permiten entender el cambio de pensamiento a partir de la inclusión de la tecnología en la arquitectura, proyectando así formas diferenciadas y evolutivas cargadas de información.

### 3.1. Proceso de incorporación de tecnologías CAD en la arquitectura.

El impacto de las tecnologías CAD a partir de la década del 90 ha sido evidente y exponencial, generando cambios en la eficiencia y precisión del objeto diseñado y fabricado. Según Lars Hesselgren (2009), ya no solo diseñamos Edificios, sino que diseñamos los sistemas que diseñan los edificios. La llegada de los sistemas CAD vinieron para quedarse y en este texto, se darán a conocer los períodos que marcaron el ingreso de estas tecnologías a la disciplinas.

Dentro del proceso de desarrollo e incorporación de sistemas CAD al proceso de diseño se reconocen 3 momentos: **habilidad**, **automatización** y **consolidación**, cada uno de estos enfocado a la adopción de estas tecnologías al campo de la arquitectura y el diseño computacional.

Como **habilidad** (Andía, 2001) se denomina al estado de apropiación y uso de las herramientas, en este proceso se adquiere la habilidad en su uso y se genera documentación, que apoya al aprendizaje en el manejo de estas. Las nuevas tecnologías son utilizadas como medio en donde su impacto radica en la representación y reducción del tiempo empleado para generar material no generando aún un gran impacto

en el proceso de diseño.

La **automatización**, (Andía, 2001) comienza a darse en los años 90 con el uso de las herramientas CAD como parte de la metodología y el proceso de diseño teniendo gran impacto en la exploración formal que solo había sido explorada anteriormente en la práctica de forma manual. La automatización permitió a los diseñadores explorar formas complejas, evolutivas y continuas como contrarrespuesta a la simetría modernista. Con el fin de comprender como es apropiado este proceso se presentan algunos de los exponentes primarios.

Dentro de la primera generación de arquitectos digitales en los 90 se encuentra Greg Lynn que se embarcó en la exploración de estas tecnologías generando interés por los sistemas dinámicos de carácter no lineal, en busca de la utilización del cálculo y la expansión de la disciplina. Luego se centró en lo formal, recurriendo a algoritmos generativos que le permitían explorar gran variedad de geometrías blandas dentro de una misma topología.

Otro referente es Bernard Caché quien crea el concepto “*No estándar*”<sup>37</sup> que define como la generación de formas más o menos blandas como edificios a modo escultórico y objetual sin mayor relación con su sedimentación histórica, perpetuando la idea del arquitecto como artista. Expone también la capacidad de los modelos paramétricos de exportar agentes externos al proceso de diseño.

Una vez arraigadas las tecnologías CAD en los procesos y metodologías de diseño, la Academia a través de las distintas conferencias CAD valida y reconoce la emergencia producida a partir tanto de las herramientas como a las metodologías que las incorporan como parte del proceso de diseño generando la consolidación.

La adopción de las tecnologías en la arquitectura no está exenta de polémicas, dentro del transcurso de la historia se reconocen dos posturas, la primera tiene que ver con la visión del computador como instrumento que incide directamente en el proceso de diseño, aumentando la velocidad de trabajo y la información que el diseñador

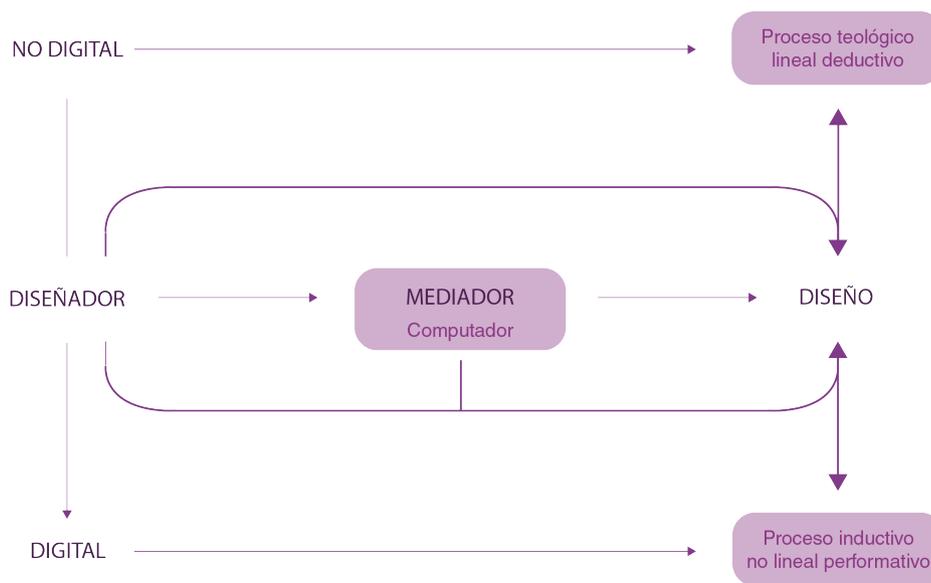
.....

37 Junto a Foreign Office y Patrick Beauce, escriben el artículo “Hacia una producción no estándar” describiéndola como un arquitectura abstracta capaz de organizar el flujo de datos que son necesarios para la producción digital.

maneja para su ejecución.

Por otro lado, se cuestiona la autoría del diseñador, exponiendo el porcentaje de intrusión de las tecnologías en el proceso de diseño emergiendo la pregunta ¿Qué hace el diseñador y que hace el computador? Ortega (2013) plantea una tercera mirada, que tiene que ver con la autoría en alternancia y expansión, en donde el arquitecto se apropia de los beneficios de la herramienta expandiendo su campo de conocimiento y especialidad.

Ahora, el arquitecto se plantea como un diseñador de algoritmos, que no solo maneja las características de la arquitectura, sino que expande su campo a técnicas digitales que le permiten llegar más allá a partir de un proceso de diseño que utiliza como mediador un computador que según el diagrama basado en lo expuesto por Ortega (2013) le permite llevar un proceso inductivo de características no lineales, sistemáticas y cíclicas a través de la retroalimentación y lo performativo (imagen 3.1).



• Imagen 3.1  
 • Esquema de tipos de Diseñador.  
 • Fuente:  
 • *Elaboración Propia.*

Según Oxman (2005), Los medios digitales han evolucionado respondiendo a un complejo conjunto de influencias emergentes que han ido transformando el concepto de generación de la forma, en donde el lenguaje de programación y la interfaz forman un lenguaje basado en reglas administradas por los diseñadores para la construcción del diseño digital haciéndose en muchos casos dependientes de estos (Herrera, 2007).

### 3.2. Planteamiento digital en la praxis arquitectónica.

En tiempos pre-digitales, según Kolarevic (2003) la potencialidad de la forma de carácter euclidiano, correspondiente a líneas, círculos, cilindros, etc. tenía que ver con la extensión de sus límites. Para la búsqueda de mayor complejidad, se trabajaba con curvas a partir de la unión de arcos tangentes y líneas, como se ve en la imagen 3.2, pensando siempre en la factibilidad de dibujo, durante la proyección y el trazado en

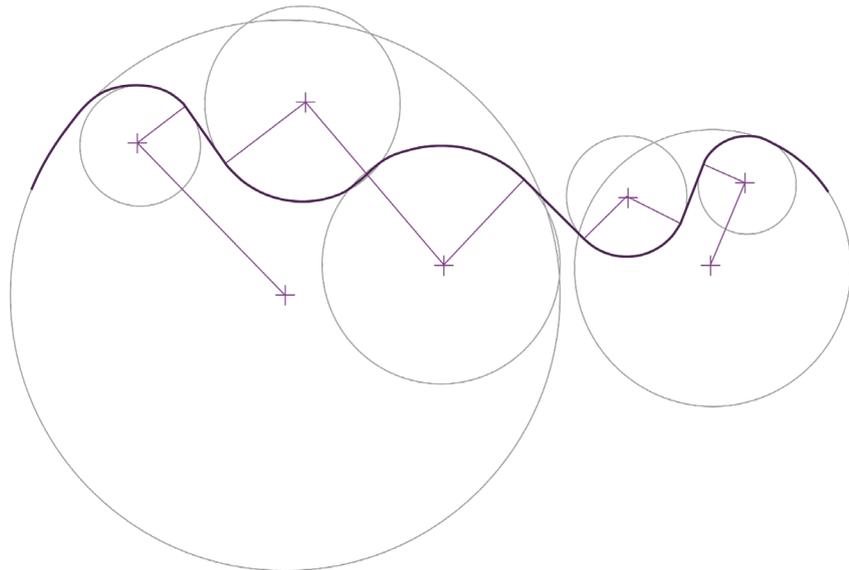


Imagen 3.2 :  
Trazados Pre-Digitales.  
Fuente :  
Kolarevic, 2003.

1990

● 1 **FRAC CENTRE**  
Centro de Documentación, Exhibición y Publicación de Arquitectura Digital  
Peter Eisenman

● 2 **Terminal Internacional Waterloo, Londres**  
Nicholas Grimshaw  
● **Greater Columbus Convention Center, Ohio**  
Eisenman Architects

1995

● 3 **Terminal Portuario Internacional de Yokohoma**  
Foreing Office Architects

● **Aronoff Center for Design Aand Art, Cincinnati, Ohio**  
Eisenmann Architects

● 4 **Museo Guggenheim de Bilbao**  
Frank Ghery

● **Korean Presbyterian Church of NY**  
Greg Lynn

2000

● 5 **Mediateca de Sendai**  
Toyo ito

● **Sala de Conciertos de Walt Disney**  
Frank Ghery

● 6 **Pabellón Serpentine Gallery**  
Toyo ito

● **EXPOSICIÓN ARQUITECTURA “NO ESTÁNDAR”**  
Pompidou

2005

● 7 **P. Wall**  
Andrew Kudless

● 8 **Torre 0-14**  
RUR

● **Mercedes-Benz Museum, Stuttgart, Germany**  
UNStudio

● **Hungerburg Station, Innsbruck, Austria**  
Zaha Hadid

2010

● 9 **Riverside Museum of Transport**  
Zaha Hadid

● **Guangzhou Opera House, Guangzhou, China**  
Zaha Hadid

● **Cidade da Cultura de Galicia**  
Eisenman Architects

● **Galaxy Soho, Beijing, China**  
Zaha Hadid

2015

● **Heydar Aliyev Center, Baku, Azerbaiyán**  
Zaha Hadid

obra.

El ingreso de las tecnologías CAD alejó al diseñador de las formas pre-digitales, optando por geometrías no euclidianas, no estándar, abriendo así el campo a la forma topológica permitiendo generar superficies y curvas continuas que hasta el día de hoy siguen manteniendo un lugar destacado en la arquitectura contemporánea (Kolarevic, 2003).

Al día de hoy el uso de herramientas digitales se ha vuelto una práctica natural. Dentro de los planteamientos característicos de la era digital se encuentran las relaciones dinámicas, flujos, geometrías no euclidianas, integración de modelos naturales, hipercontinuidades, diferenciaciones, discontinuidades, entre otros.

A continuación, se exponen algunas de estas características en momentos y proyectos de arquitectura emblemáticos de la arquitectura digital a modo de entender sus procedimientos, particularidades y arraigos tanto a la tecnología como a la complejidad exponiendo las nuevas técnicas y experimentaciones que se han ido concretando desde la adopción de los sistemas CAD en la arquitectura.

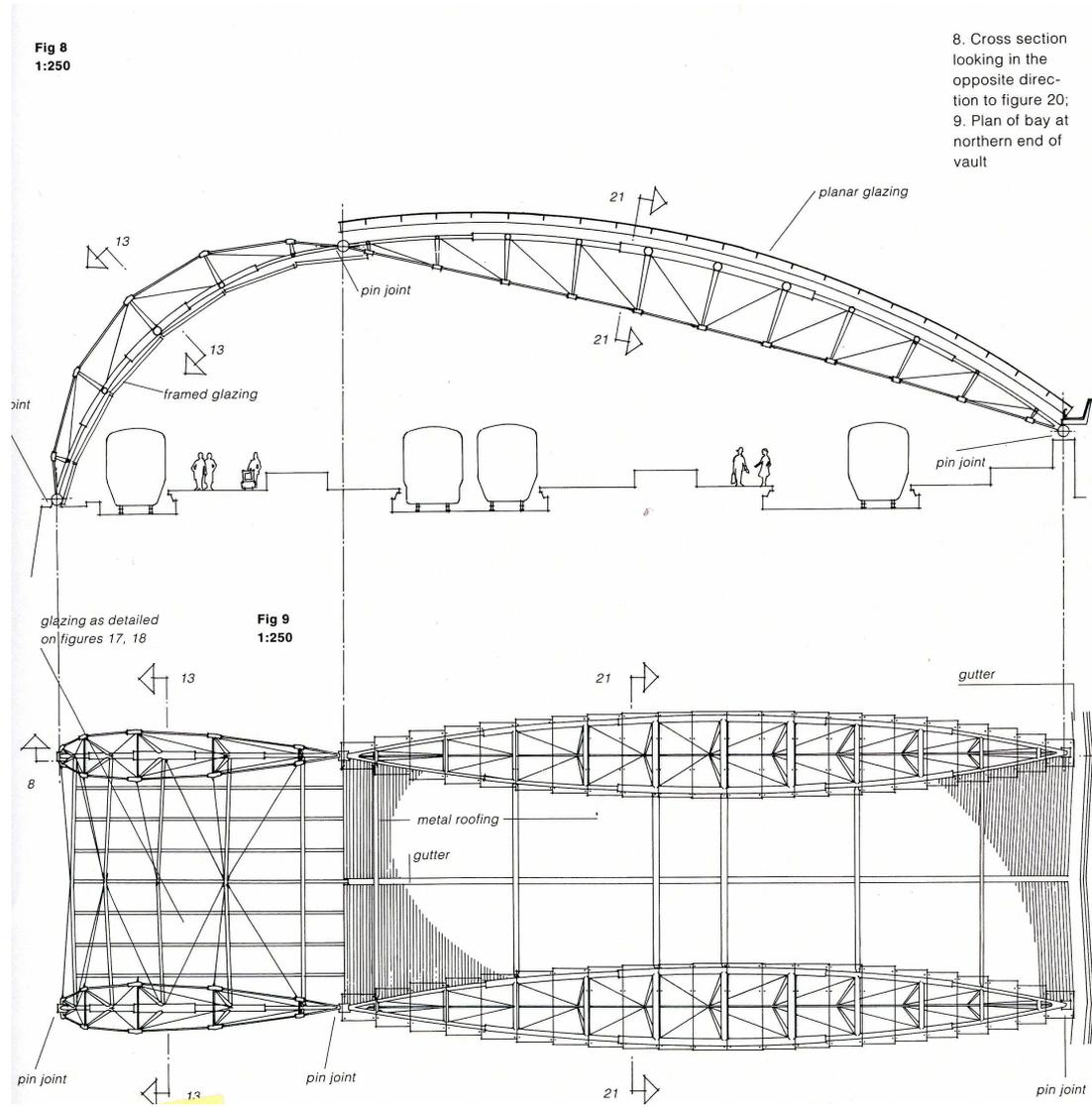
En 1991 el FRAC CENTRE (Fonds Régional d'Art Contemporain du Centre) abre sus puertas como Centro de Documentación, exhibición y publicación de arquitectura digital (Oxman, 2006), marcando presencia en la disciplina, que hasta ese momento no tenía mayor conocimiento sobre la experimentación llevada a cabo por académicos y profesionales mediante herramientas digitales (punto 1 imagen 3.3).

Las aplicaciones tempranas de diseño paramétrico se dieron en la exploración de geometrías lineales continuas, no repetitivas y evolutivas (Oxman, 2006), estas características se reúnen en proyectos como el Terminal Internacional de Waterloo (punto 2 i.28) de Nicholas Grimshaw (1993), que ha tenido puestas las miradas en la conformación de la cubierta sinuosa y curvilínea de carácter evolutivo que recoge el movimiento de los ferrocarriles.

Para la construcción de la estructura de la cubierta en acero y vidrio facetado (imagen 3.4), a partir de un gran arco triarticulado (imagen 3.5), se hizo uso de modelos computados de las uniones de hierro fundido, en conjunto con ensayos 1:1 para comprobar la factibilidad de las barras de acero asimétricas que componen la estructura.

• Imagen 3.3  
 • Práctica Timeline.  
 • Fuente:  
 • *Elaboración Propia.*





8. Cross section looking in the opposite direction to figure 20; 9. Plan of bay at northern end of vault

• **Imagen 3.4**  
 • Terminal internacional de  
 • Waterloo, Nicholas Grimshaw.  
 • **Fuente:**  
 • Fotografía © Nick Weall

• **Imagen 3.5**  
 • Planta Terminal Internacional  
 • Waterloo.  
 • **Fuente:**  
 • Grimshaw.



El Terminal Portuario Internacional de Yokohama de FOA <sup>38</sup>(1995) explora la confección de la complejidad formal poniendo énfasis en la hipercontinuidad a modo de complejos modelos topográficos (Oxman, 2006), en este caso la complejidad no solo radica en su forma evolutiva, sino también en la capacidad de la estructura al cumplir más de una función, estructura portante soporte del parque urbano (imagen 3.6).

Cada una de sus sinuosas composiciones geométricas tienen directa relación con los distintos momentos identificables del proyecto como rampas, bordes, perforaciones, etc. Cada una de estas singularidades permiten que se evidencie una diferenciación en cada uno de sus espacios y pliegues (Ortega, 2013). La noción de pliegues nos lleva a las superficies discontinuas de Thom presenta en la Teoría Catastrófica. Este no es el único proyecto que trabaja esas discontinuidades, Frank Ghery por ejemplo es un gran exponente de su uso en arquitectura.

A estas características de “multiplicidad de funciones” Ortega (2013) las llama redundancias, caracterizadas por la sobreinformación existente en los proyectos de corte digital, también puede decirse que estos tienen un nivel más alto de información, las cuales permiten responder a más de un criterio o función al mismo tiempo, como se aprecia en el ejemplo anterior.

A modo de comparación con la arquitectura realizada durante el movimiento modernista, en donde la forma sigue a la función y responde a la excesiva optimización, reduciendo el diseño a formas euclidianas simples, se reafirma la premisa de Lynn (1988) que define simetría como “falta de información”, en donde cada vez que un modelo pierde información se vuelve a este estado de equilibrio proporcional.

Teóricamente hablando, el Museo Guggenheim de Bilbao (1997), llegó de cierta manera a consolidar el uso de las herramientas digitales en la arquitectura entregando fuerza a la teoría (Oxman, 2006). Para el diseño de este proyecto se adopta la herramienta CATIA, que será la inspiración de Ghery Technologies para la creación de Digital Project, plataforma paramétrica diseñada en 2002 que incluye una biblioteca de arquitectura.

La aplicación de la técnica digital le permitió a Ghery explorar las geometrías curvilí-

.....

38 Foreign Office Architects.

• Imagen 3.6  
 • Terminal Portuario Internacional  
 • de Yokohama / Foreign Office  
 • Architects.  
 • fuente:  
 • Euromax [Usuario de skyscrapercity].



neas y pliegues en toda la extensión de su fachada (imagen 3.7), llevando al límite las propiedades de la materialidad (titanio). A pesar de que visualmente pareciera que el patrón organizador de la fachada es inexistente, responde a la captación de luz y reacción con el sol y el clima (Pagnotta, 2015), entregando la multiplicidad funcional.

Otro ejemplo de similares características funcionales corresponde a la Mediateca de Sendai de Toyo Ito (1995-2000). En este caso el sistema estructural se basa en barras que forman redes a diferencia de otros sistemas de utilización de barras como los domos geodésicos que facetan las superficies curvas con el fin de encontrar la optimización estructura (Ortega, 2013), la mediateca explota las posibilidades del sistema llevándolo a otro nivel geométrico (imagen 3.8).

• **Imagen 3.7**  
 • Museo Guggenheim Bilbao,  
 • Frank Ghery.  
 • **fUENTE:**  
 • RonG888, Flickr User.

A simple vista el edificio responde a características modernistas recurrentes, manteniendo la idea de Mies van der Rohe de recubrir la fachada con vidrio. Las plantas libres de configuración independiente, dispuestas una sobre la otra como una torta (González, 2010), hacen aún más similitud a esas técnicas de diseño, pero adentrándose a la estructura, nos encontramos con pilares reticulados irregulares que quiebran la estética que prevalece en el resto de la obra.

El sistema de malla forma los pilares correspondientes a la estructura del edificio. Existe una diferenciación entre cada uno de estos dados los patrones de carga a los que se ven sometidos, así las estructuras portantes no sólo conllevan la funcionalidad de soporte, sino que también albergan circulaciones y programas observables en el corte de la imagen 3.9. Nuevamente nos encontramos características redundantes a base de la redundancia y la multiplicidad (Ortega, 2013).

Toyo Ito también utiliza técnicas digitales en sistemas envolventes (imagen 3.10), un ejemplo de esto es el Pabellón Serpentine Gallery (2002), en donde el diseño del pabellón nace como resultado de un algoritmo matemático en donde el patrón hace uso de la geometría fractal dada por la rotación sistemática, escalada e iterativa de un paralelepípedo y la extensión y desplazamiento de las líneas resultantes (imagen 3.11).

Utiliza las posibilidades que le entrega la Fabricación Digital, explotando al máximo sus libertades tanto en la producción como en el montaje expedito gracias al diseño



**Imagen 3.8**

Interior Mediateca de Sendai.

**Fuente:**

Jozenji Dori, Prefectura de Miyagi, 2000.

de la modulación interior que permitió la construcción de varios espacios al mismo tiempo. A diferencia de otros proyectos que se encuentran limitados por las restricciones materiales (Ortega, 2013).

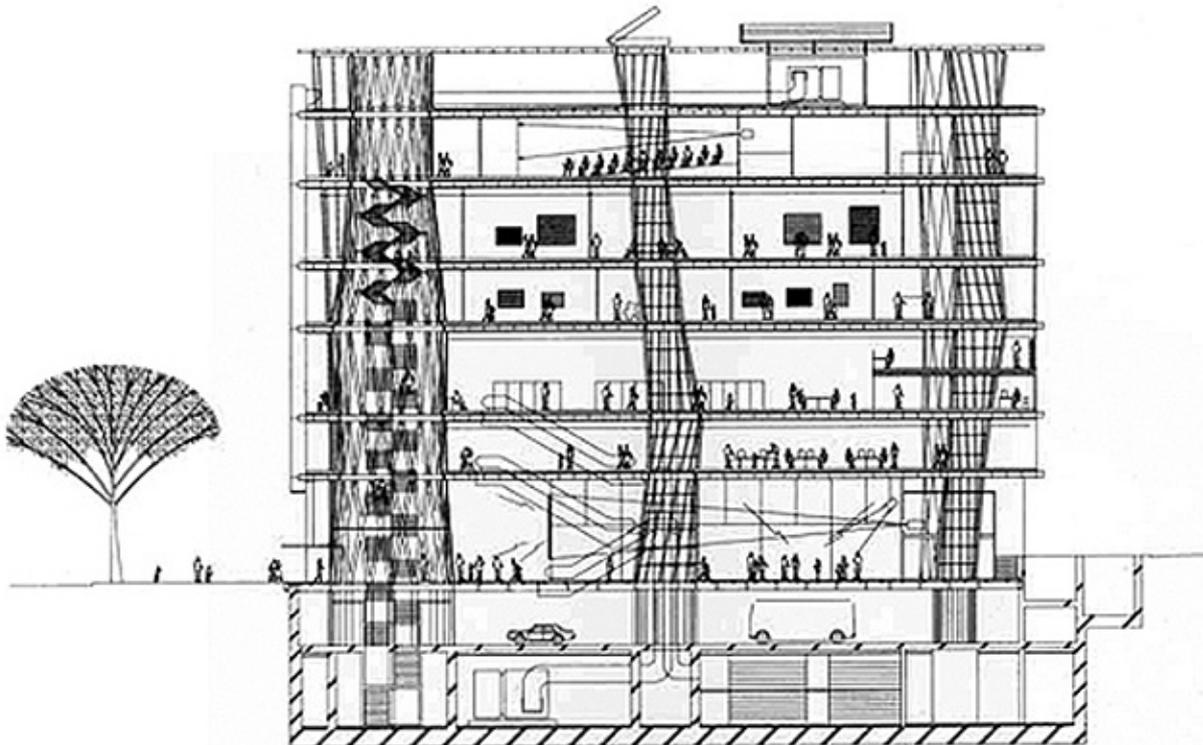
El uso de patrones es muy común en las obras digitales permitiendo abrir el campo para poder lograr diferenciaciones entre estos. El proyecto P. Wall (imagen 3.12) de Andrew Kudless (2006) los trabaja haciendo uso de moldes para su construcción,

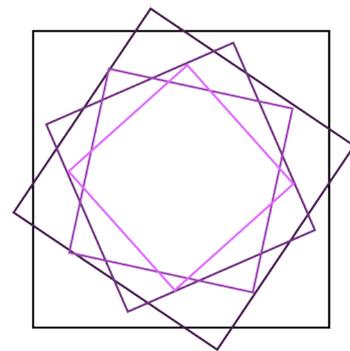
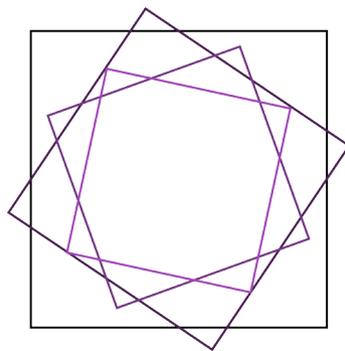
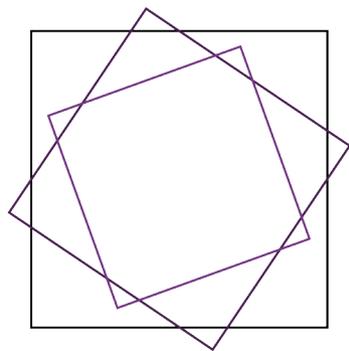
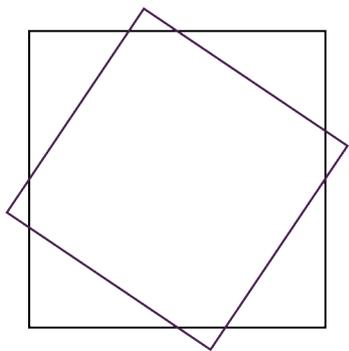
**Imagen 3.9**

Sección Mediateca de Sendai.

**Fuente:**

Jozenji Dori, Prefectura de Miyagi, 2000.





- Imagen 3.10
- Pabellón Serpentine Gallery
- Toyo Ito.
- fuente:
- *Toyo Ito, 2002.*

los que utilizados en proyectos digitales permiten tener un cierto grado control sobre la figura, no hablamos de control total, ya que existe un grado de incertidumbre incontrolable en el resultado que en obras pre-digitales solo se reducen al mínimo de desviación por la relación directa entre el molde y el proyecto.

Este proyecto se construye mediante la generación digital de un patrón de diferenciación basado en puntos de control regularizados mediante la composición digital (imagen 3.13). Su construcción utiliza moldaje textil flexible, tomando como oportunidad visual el efecto de la gravedad y el fragüe que logran un resultado controlado que en realidad tiene un considerable margen de incertidumbre lo que le permite al autor trabajar con modelos que no son exactos a partir de un proceso denominado de alto control (Ortega, 2013).

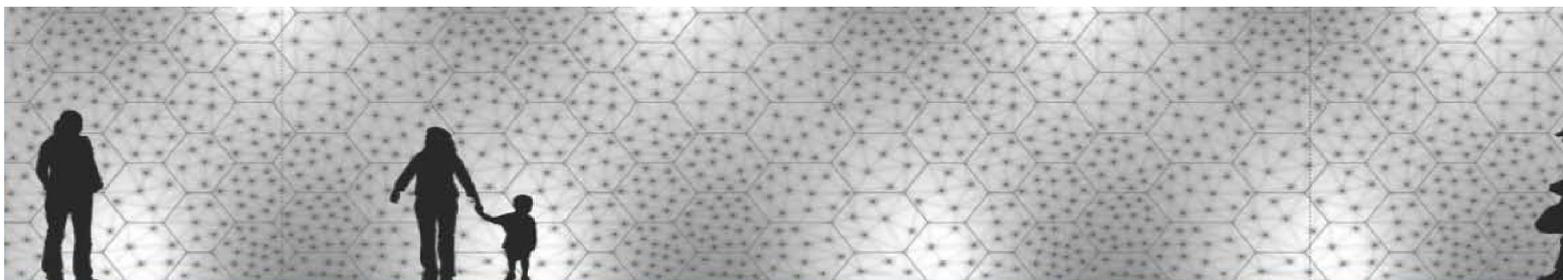
Los sistemas de patrones también puede ser redundantes al cumplir más de una función, este es el caso de la Torre 0-14 de RUR<sup>39</sup> (2006-2007), que hace uso de pa-

<sup>39</sup> Conformado por Jesse Reiser v Nanako Unemoto

- Imagen 3.11
- Operación de Generación de Patrón, Serpentine Gallery.
- fuente:
- *Elaboración propia.*

- Imagen 3.12
- P\_Wall, Andrew Kudless/  
Matsys, 2006.
- fuente:
- *Andrew Kudless.*





trones en la fachada del edificio. La configuración paramétrica del edificio está compuesta por dos pieles, la exterior fabricada en hormigón estructural (imagen 3.14), formada por un patrón con distribución regular de formas casi circulares a distintas escalas (Ortega, 2013).

Esta organización no está solo regulada por un parámetro, sino que aborda otros criterios como el estructural, el visual y el ambiental a partir de un efecto de ventilación y asoleamiento, cualidades que lo transforman en un sistema redundante basado en la multiplicidad y la sobreinformación (Ortega, 2013).

Existen diseños que solo nacen a partir de exploraciones paramétricas con formas complejas que se convierten en un recurso organizativo que va más allá de la funcionalidad estructural, este es el argumento del *Riverside Museum of Transport de Zaha Hadid* (2004-2011).

En este caso, los pliegues provenientes de las superficies catastróficas son los que toman gran parte del protagonismo (imagen 3.15), son conformados de cubiertas metálicas de sección sinusoidal, son los que se llevan el carácter organizativo y como

.....  
**Imagen 3.13**  
Patrón Generados versus  
Forma Final.

**fuentes:**  
*Magdalena Kraska Wordpress  
User.*

**Imagen 3.14**  
Torre 0-14, RUR.

**fuentes:**  
*Nelson Garrido, e-architect.*





se mencionó anteriormente, no tienen relación directa con la eficiencia estructural (Ortega, 2013).

El objeto nace a partir del resultado de un modelo paramétrico en base a 2 conceptos de diseño, uno interior que hace referencia a la infraestructura y los movimientos de lo expuesto en el museo mientras el exterior tiene que ver con el paisaje de olas vinculado a movimientos industriales (Ortega, 2013).

A raíz de la revisión de estos proyectos que se clasifican según el uso las multiplicidad de funciones que cumplen, la cantidad de información que se utiliza en sus respectivos procesos de diseño, el uso de patrones y la exploración de formas complejas que nos permiten los sistemas CAD, puede decirse que la arquitectura de la industrialización en donde la forma sigue a la función, desaparece emergiendo un cambio de paradigma, la arquitectura de la información, ya no se piensa de manera mecánica sino de forma cibernética y sistémica (Ortega, 2013).

El cambio proyectual a sistemas redundantes cargados de sobreinformación, permiten que cada momento tenga su particularidad, y no solo una, sino estratos de multiplicidades que generan diseños evolutivos en donde la cualidad predominante radica en la diferenciación y la consolidación de formas no estándar, es decir, formalidades provenientes desde complejidad, sin recurrir al reduccionismo dado por la optimización del modernismo.

La repercusión de los sistemas CAD en arquitectura, no solo se remontan a su uso en el proceso de diseño, sino que también existe un impacto de estos en la academia, creándose instituciones que permiten reunir los conocimientos teóricos y experimentales del área digital, impulsando el cambio de visión, las nuevas técnicas que se incorporan a la arquitectura y conociendo las tendencias de las distintas ramas que componen el diseño computacional.

• **Imagen 3.15**  
• Riverside Museum of Transport  
• de Zaha Hadid.  
• **Fuente:**  
• *Hawkeye, Designboom.*

### 3.3. consolidación: aportes de la academia en la escena teórica

Dentro del mundo arquitectónico digital nace la necesidad de reunir a los profesionales de la rama, con el fin de facilitar las investigaciones sobre el papel de la computación en la arquitectura. La primera organización que emerge es **ACADIA**<sup>40</sup> en 1981, seguido de **eCAADe**<sup>41</sup> en 1983, próximamente se unen **CAADRIA**<sup>42</sup> (1996), **SiGraDi**<sup>43</sup> (1997), **ASCAAD**<sup>44</sup> (2005) y **CAAD Future** (1985). Cada una con fines comunes asociadas a distintas regiones del planeta.

Para poder entender la mirada de la academia en torno al diseño computacional, se realiza una exploración de los últimos 10 años en donde se revisa cada uno de los llamados, es decir, cada uno de los tópicos a tratar en las distintas conferencias en torno al área digital. Esto permite encontrar variables relevantes para entender cómo va evolucionando el pensamiento digital, las tendencias por año, las actuales y las nuevas tecnologías. Para poder trabajar la data, se extraen palabras claves de los Tracks a modo de clasificar la información de forma clara (imagen 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21).

A partir del estudio de las diferentes conferencias, se reconocen distintas temáticas generales, diferenciada, que no plasman una correlación temporal entre ellas, más bien se desarrollan de manera paralela dependiendo de la contingencia del lugar en el que se desenvuelve, encontrándose mayores progresos contemporáneos a la práctica en aquellas que tienen mayor antigüedad.

.....

- 40 Association for Computer Aided Design in Architecture.
- 41 Association for Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe.
- 42 Association for Computer Aided Architectural Design in Asia.
- 43 Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital.
- 44 Arab Society for Computer Aided Architectural Design.

En las conferencias ACADIA, se reconocen tres grandes temáticas en los últimos 10 años, presentándose de forma progresiva: **acercamientos a sistemas de inteligencia artificial, vuelco a lo humano y sustentabilidad**. Cada una de estas temáticas se relaciona a su innovación digital, críticas respectivas, metodologías de diseño y producción.

Esta asociación ha sido pionera en la incorporación e investigación de tecnologías relacionadas al uso de la información (data) e inteligencia artificial (machine learning, agent based system) entre los años 2018 y 2014, reflejadas en los tópicos a tratar (imagen 3.16), manteniéndose a la par con las implementaciones que se están dando actualmente en la práctica en grandes firmas como Autodesk y Perkins + Will. CAADRIA (imagen 3.17) no se queda atrás con la incorporación de estas temáticas en su última conferencia.

Cabe mencionar la brecha existente en tiempos anteriores en que la consolidación de técnicas digitales en la academia se daba después de alrededor de 10 años de haber sido implementadas en la práctica, este en el caso de las herramientas de modelado paramétrico utilizadas por primera vez en 1997<sup>45</sup>, que no aparecen como tópico relevante hasta el año 2009.

Anterior a esto en el período comprendido entre 2014 y 2015 a modo de transición, se da en la academia un vuelco a lo humano, teniendo como tópico principal “human – no human” y “human – no human interaction” y su repercusión en la teoría y el diseño. Diseñamos para humanos y los humanos hacen uso de las tecnologías para el diseño en diferentes formas, ¿Existe una expansión en relación a lo humano y no humano o la expansión se relativiza solo a la tecnología, prescindiendo del humano?

En el siguiente período se nota una preocupación por lo sustentable y el estado actual del mundo en el que vivimos. Esto permite una reflexión sobre el aporte de la optimización y el performance en lo diseñado y construido, la complejidad aumenta propagando las restricciones de diseño, haciendo uso de normativas como “*Passive*

.....

45 Frank Ghery hace uso de la herramienta CATIA para el diseño del Museo Guggenheim de Bilbao.

# ACADIA

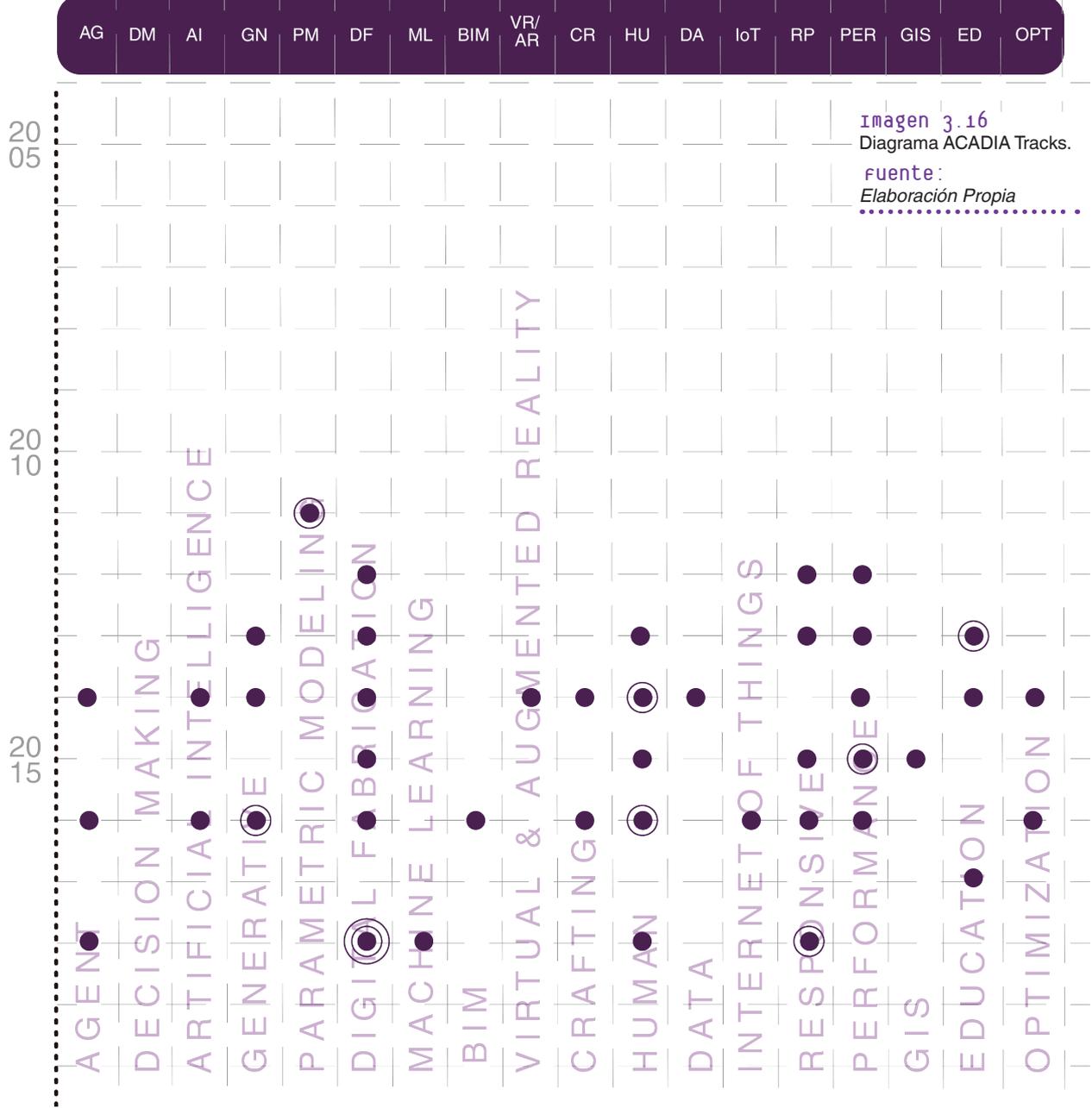
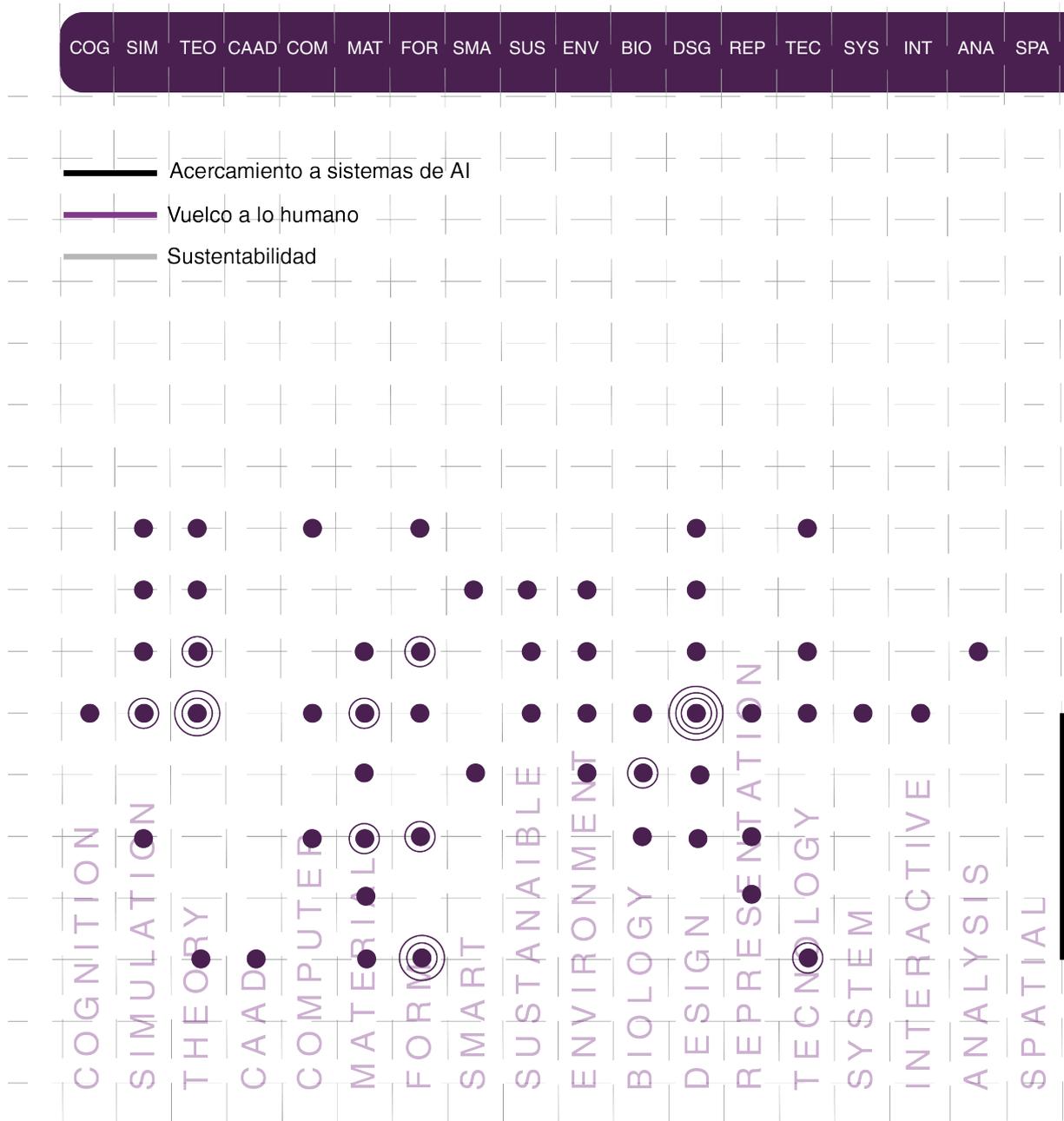


Imagen 3.16  
Diagrama ACADIA Tracks.  
fuente:  
Elaboración Propia



# CAADRIA

AG DM AI GN PM DF ML BIM VR/AR CR HU DA IoT RP PER GIS ED OPT

20  
05

20  
10

20  
15

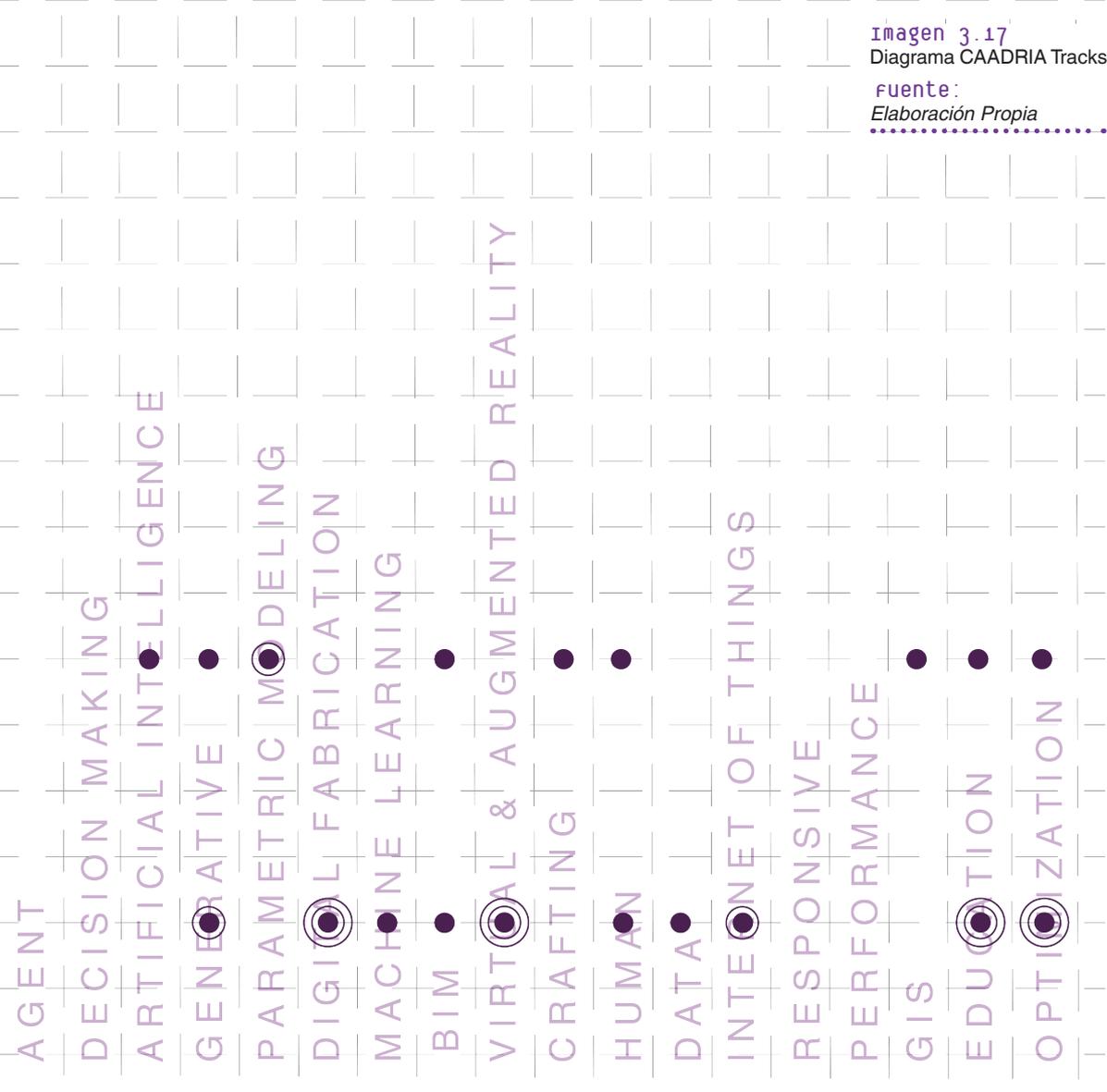


Imagen 3.17  
Diagrama CAADRIA Tracks.

Fuente:  
Elaboración Propia

COG SIM TEO CAAD COM MAT FOR SMA SUS ENV BIO DSG REP TEC SYS INT ANA SPA

Acercamiento a sistemas de AI

COGNITION  
 SIMULATION  
 THEORY  
 CAAD  
 COMPUTER  
 MATERIAL  
 FORM  
 SMART  
 SUSTAINABLE  
 ENVIRONMENT  
 BIOLOGY  
 DESIGN  
 REPRESENTATION  
 TECHNOLOGY  
 SYSTEM  
 INTERACTIVE  
 ANALYSIS  
 SPATIAL

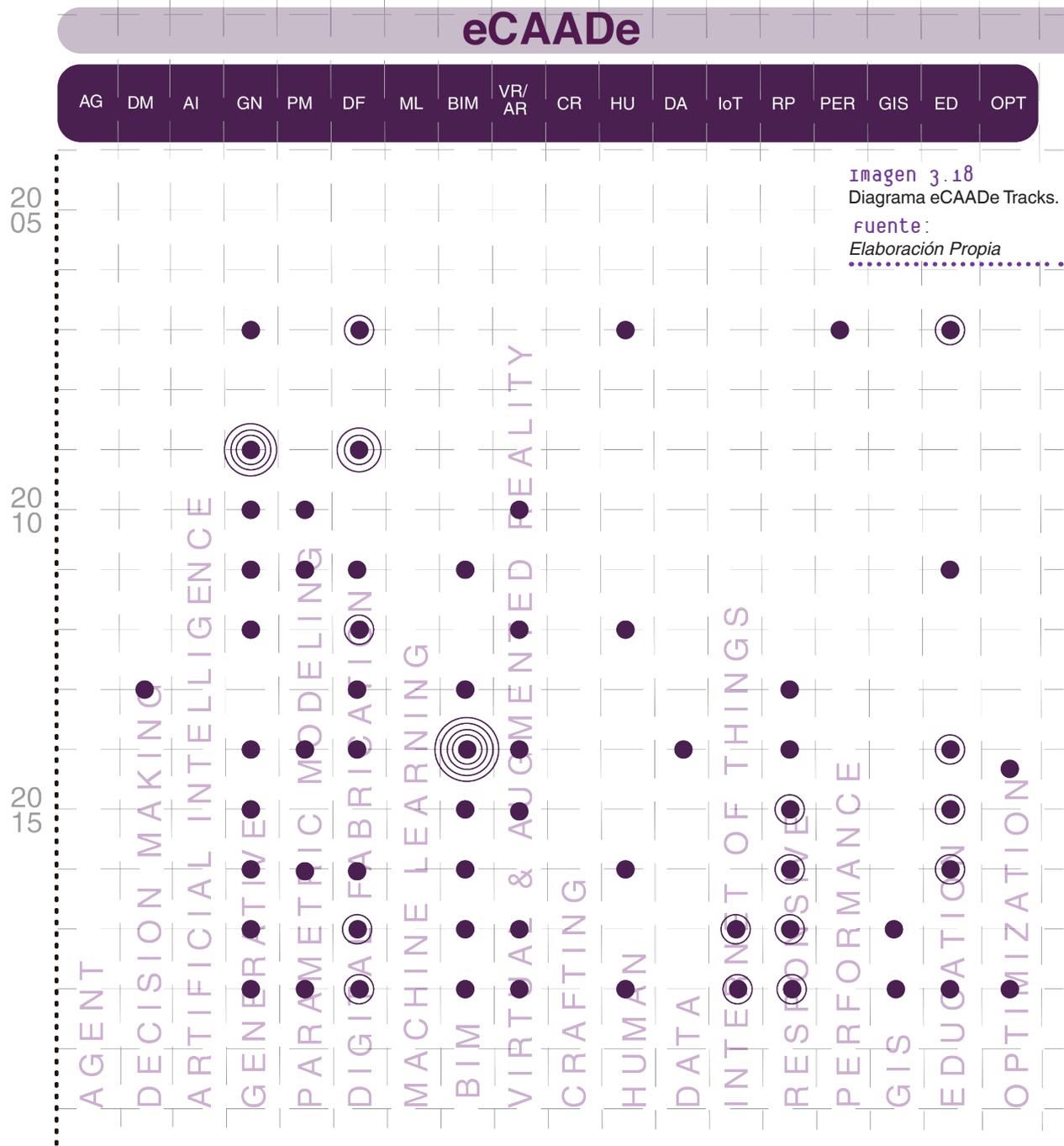
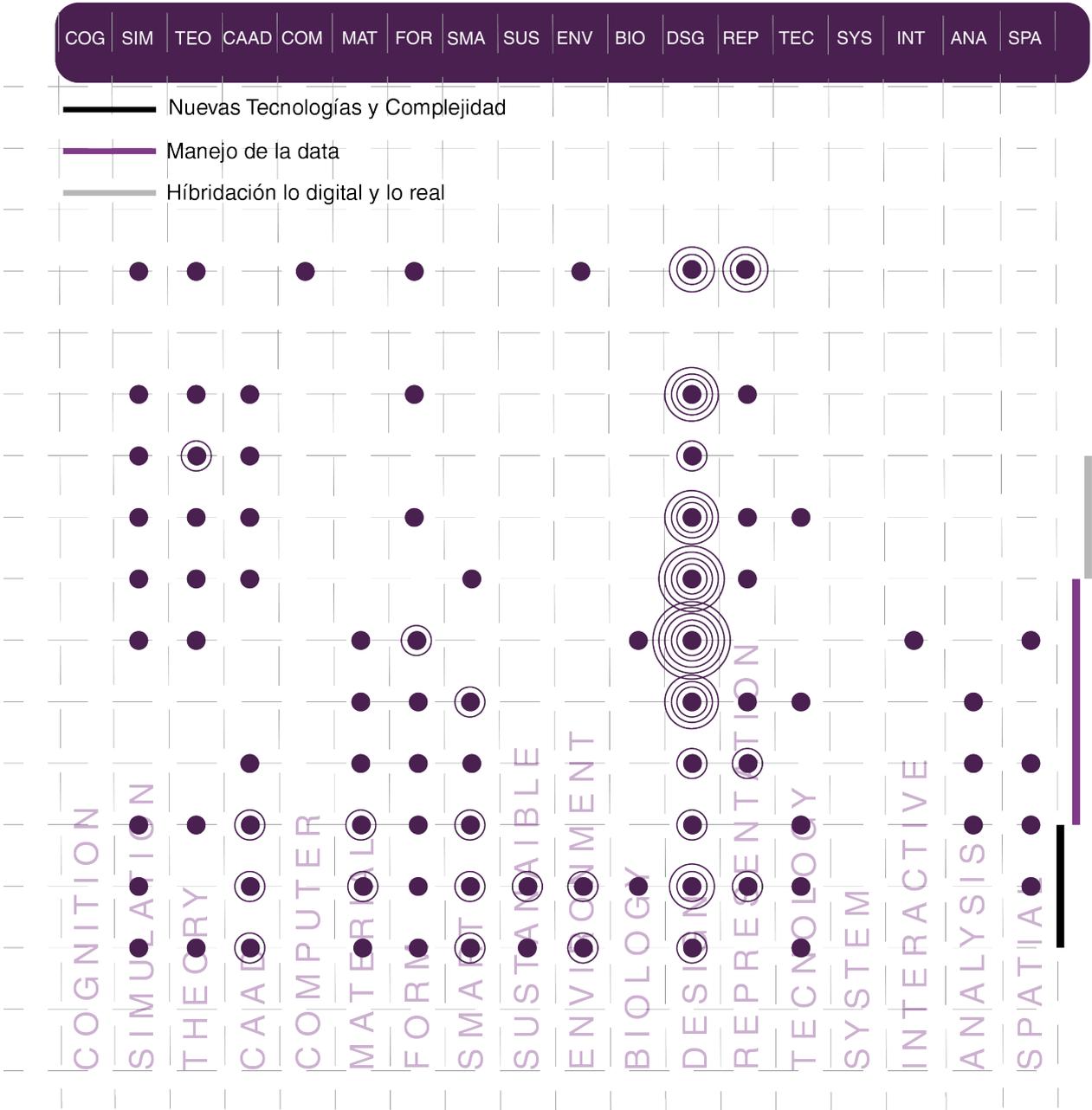


Imagen 3.18  
 Diagrama eCAADe Tracks.  
 fuente:  
 Elaboración Propia



# SiGraDi

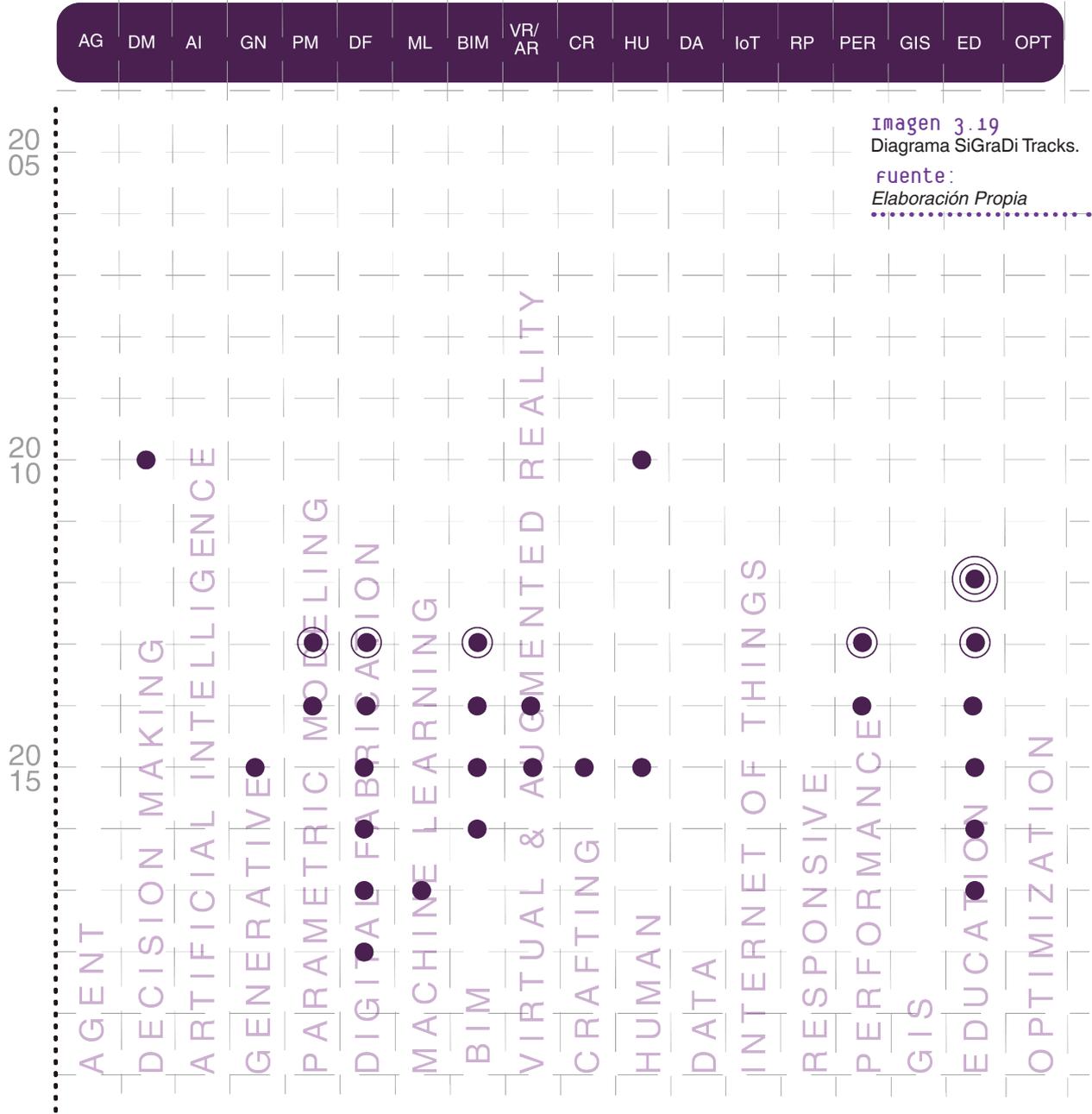
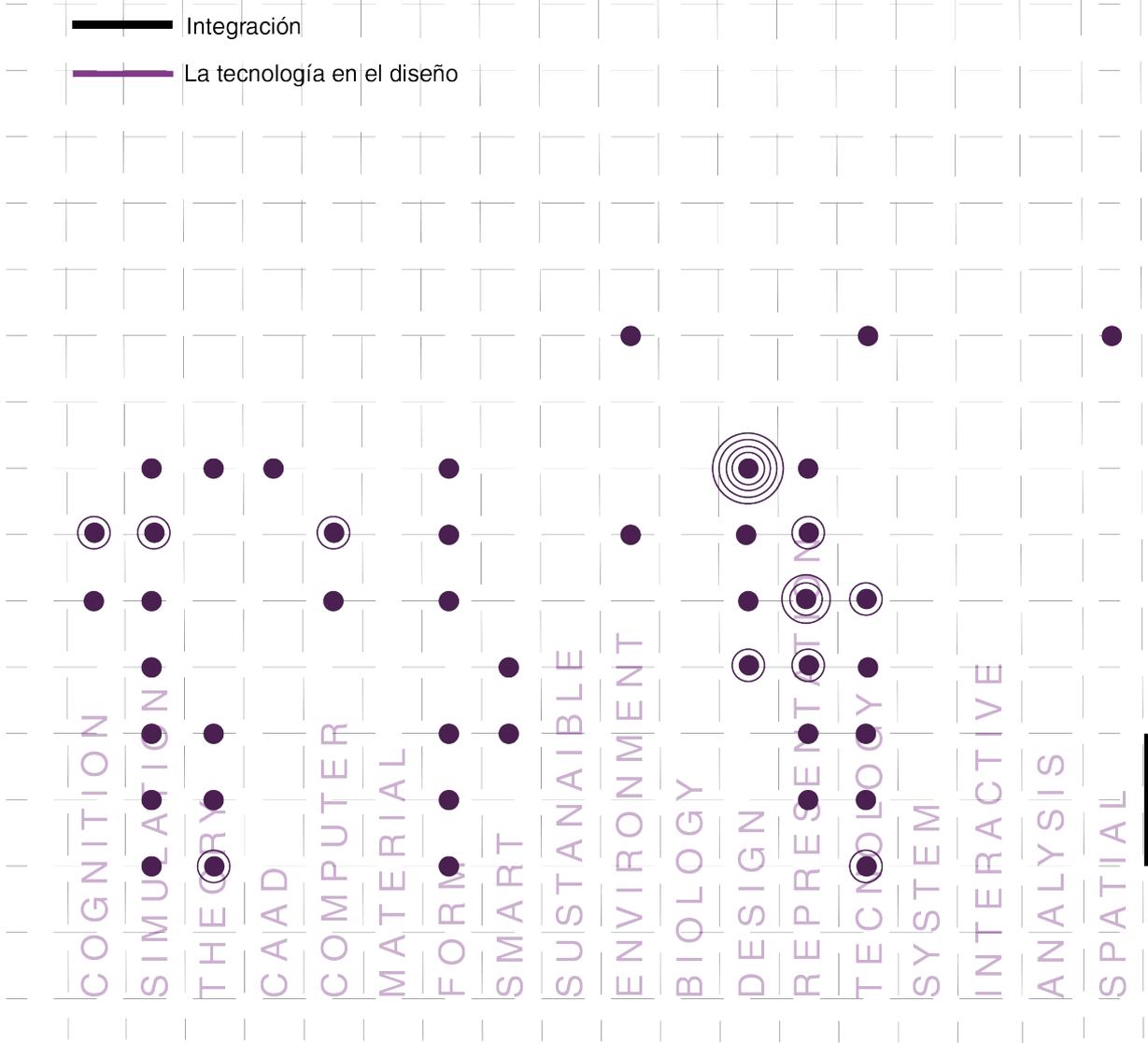


Imagen 3.19  
Diagrama SiGraDi Tracks.

Fuente:  
Elaboración Propia

COG SIM TEO CAAD COM MAT FOR SMA SUS ENV BIO DSG REP TEC SYS INT ANA SPA

— Integración  
 — La tecnología en el diseño



# ASCAAD

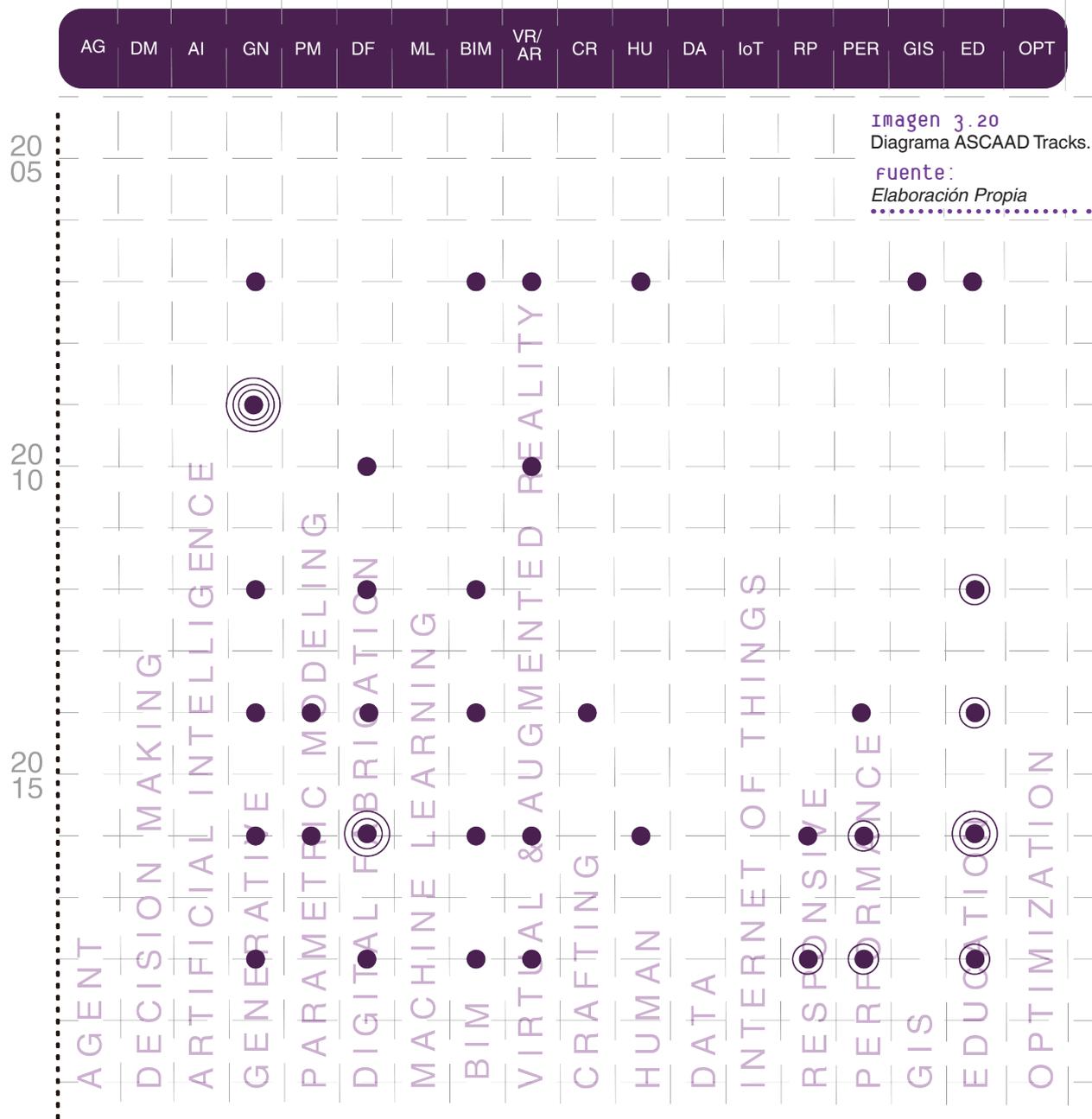
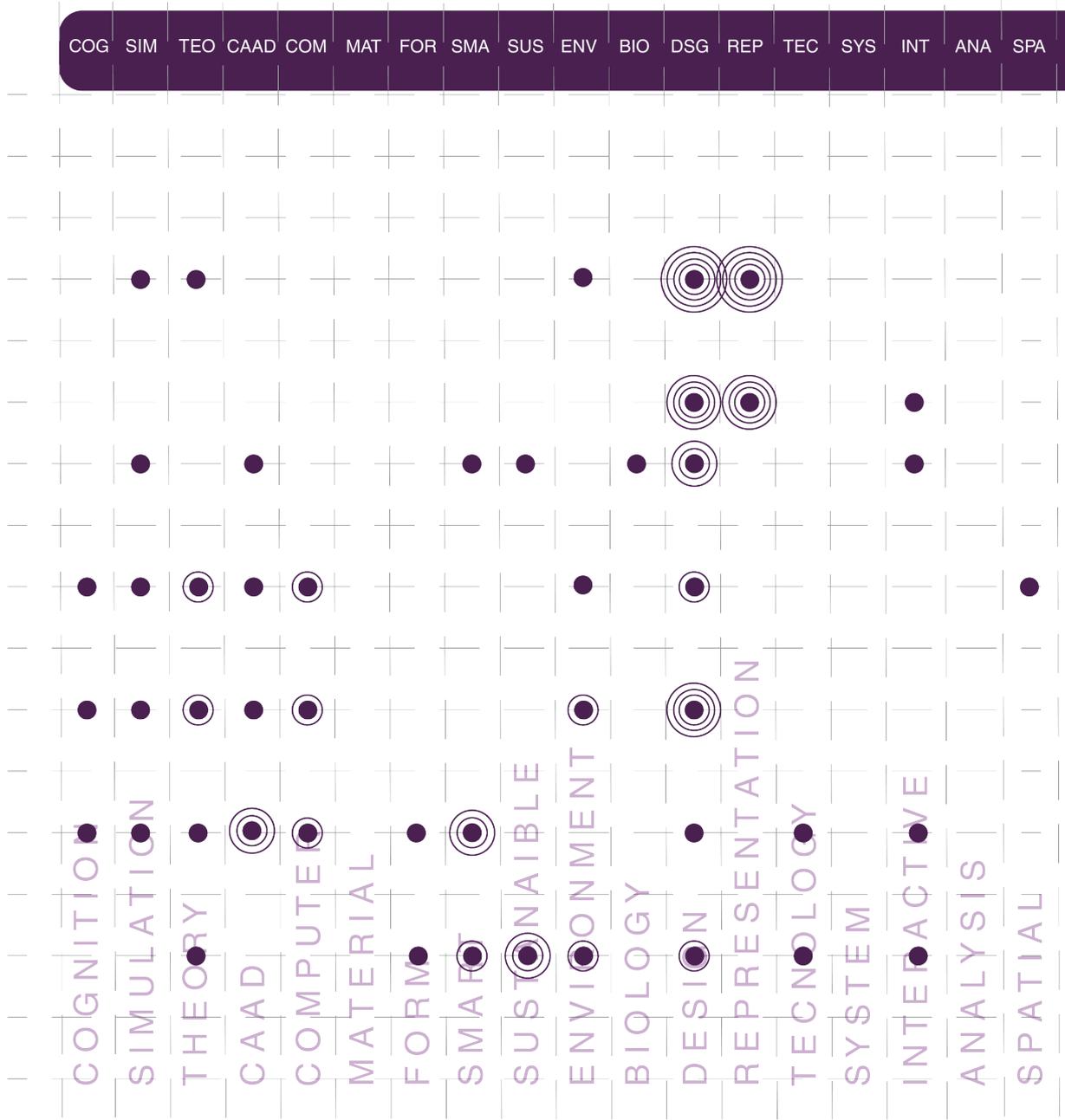


Imagen 3.20  
Diagrama ASCAAD Tracks.

Fuente:  
Elaboración Propia



*House*”, permitiendo una mejor adaptación al medio ambiente, reduciendo daños y acercando lo digital a lo natural.

Temática similar se presenta en eCAADe (2010 al 2012), en donde prevalece la postura de compenetración entre lo digital y lo físico, real y natural, arraigando el mundo digital al contexto que lo envuelve a partir de la generación de diseños sensibles para proyectar esa visión a las ciudades del futuro, incluyendo la multiplicidad de factores que han ido en aumento debido a los nuevos requerimientos referentes a la sustentabilidad y cómo esto impacta en la teoría.

Entre 2016 y 2018 (ver imagen 3.18) y proponiendo una mirada desde la complejidad eCAADe aborda el tema de las nuevas tecnologías, cuestionando si realmente la aparición e hibridación de estas logran simplificar o dificultan las dimensiones del problema. A mayor innovación mayor número de criterios a operar, por ende, existe un aumento en la complejidad. Entre estas nuevas herramientas se mencionan, Agent-Based System e Internet of Things.

Vivimos en la era de la información, en donde cada uno de los procedimientos, generación, simulación, selección y fabricación se llevan a cabo mediante el manejo de la data. Parámetros para generar, información para simular, resultados para seleccionar y próximamente fabricar. Esta es la temática general comprendida entre el 2013 y 2017<sup>46</sup> (imagen 3.17, 3.18 y 3.19), en donde se expone acerca del entendimiento y visualización de la información y su integración en metodologías como **BIM** que apuntan al diseño colaborativo e integrado.

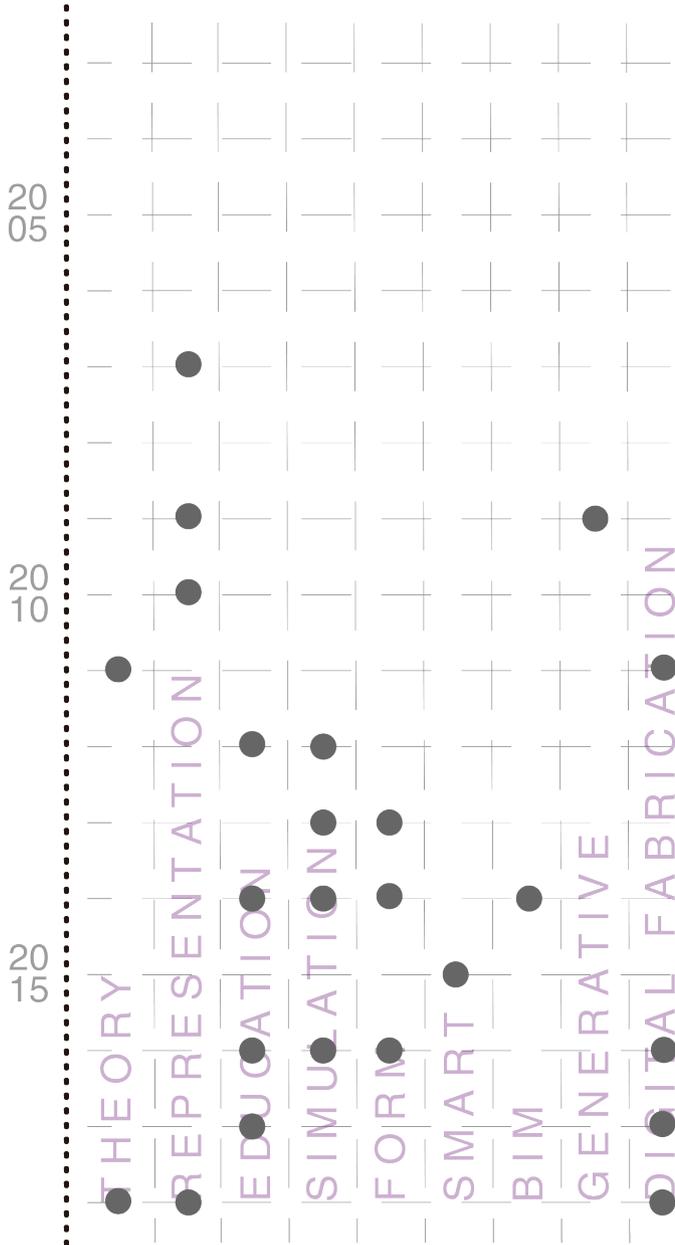
SiGraDi y ASCAAD (2018) también ha abordado temáticas que intentan entender el grado de libertad de diseño que nos entregan las herramientas computacionales ¿Hasta dónde nos permite llegar un modelo paramétrico? O ¿Cuál es el límite de la información que integramos para la generación formal y cómo esta responde a la data? Se es consciente de la existencia de restricciones de las distintas tecnologías y de la necesidad de evolucionar para suplirlas y abarcar la complejidad desde cada una de sus particularidades. Estas son algunas de las interrogantes que plasma la academia durante este período (imagen 3.19 y 3.20). El énfasis de esta investigación, se canaliza en tres categorías: las nuevas tecnologías, **tendencias y el modelo pa-**

46 2013 al 2015 eCAADe, 2015 al 2017 SiGraDi y 2017 CAAD Future.

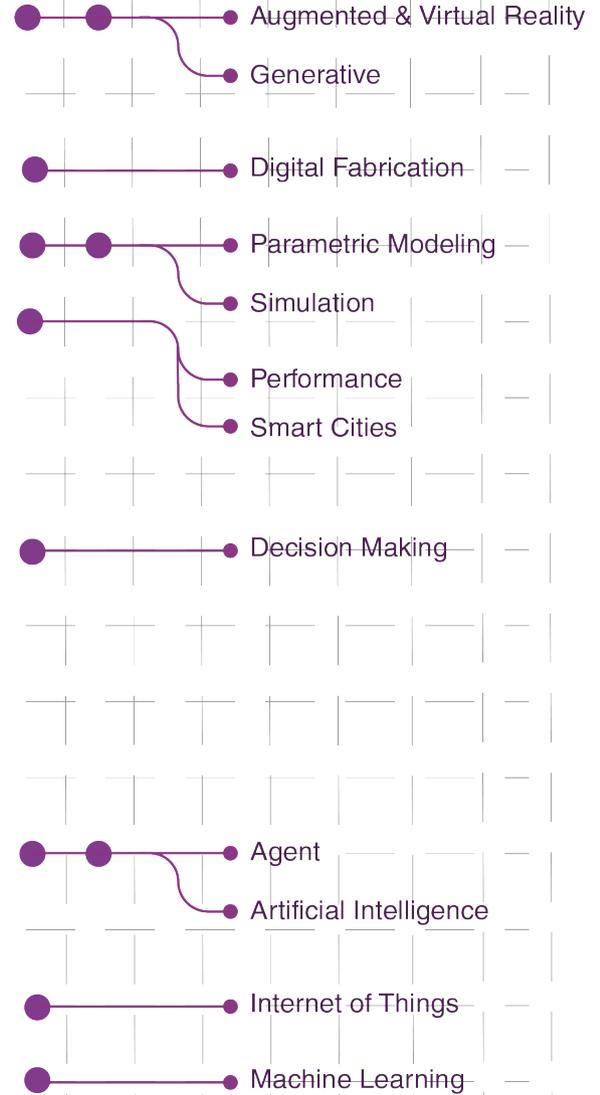
Imagen 3.21 :  
Tendencias y Consolidación en  
la Academia.  
fuente :  
Nelson Garrido, e-architect.

## TENDENCIAS

TEO REP EDU SIM FOR SMA BIM GEN DF



## CONSOLIDACIÓN



**ramétrico como base generativa.** Las nuevas tecnologías se han consolidado en la academia, ampliando el escenario de exploración teórica, generativa y material, entre ellos encontramos sistemas de inteligencia artificial como Agent-based System y Machine Learning, y aplicaciones en la construcción y extracción de data de Internet of Things (imagen 3.21).

Cada una de las diferentes asociaciones a pesar de estar disociadas entre ellas en cuanto a sus temáticas teniendo como gen común el “Diseño”, tienen temas transversales que traspasan cada uno de sus períodos y asuntos generales, tales como Fabricación Digital, Generación o Morphogenesis y la Educación y Teoría, ya que cada una de las innovaciones repercute directamente en estas áreas, que están cada vez más abiertas a la exploración a través de diferentes técnicas. Estas características los lleva a convertirse en tópicos de **tendencia** (imagen 3.21).

## 3.4. Discusión

El proceso de incorporación de desarrollos tecnológicos en arquitectura reconoce dos momentos, el de habilidad y automatización, consolidación se arraiga a cómo aborda la academia estas tecnologías y teorías. Pero al día de hoy en donde la automatización lleva su tiempo en funcionamiento, podría hablarse de un siguiente período en el que no solo las herramientas se apropian para incorporarlos en el proceso de diseño, sino que el arquitecto se especializa en crear sus propias aplicaciones en pos del conocimiento y la exploración.

A este nuevo período se le puede llamar como reinterpretación, acá el arquitecto se presenta como diseñador de algoritmos que reconoce las tecnologías a las que puede acceder y las reinterpreta con el fin de crear un símil óptimo para lograr su objetivo, así es como existen diversas aplicaciones de código abierto como grasshopper<sup>47</sup> a la cual se le han incorporado distintos plugins tales como: Lunchbox que permite trabajar las superficies a modo de retícula o faceta; Ladybug y Honeybee, ambos complementos de simulación climática; Kangaroo utilizado para form finding haciendo uso

.....

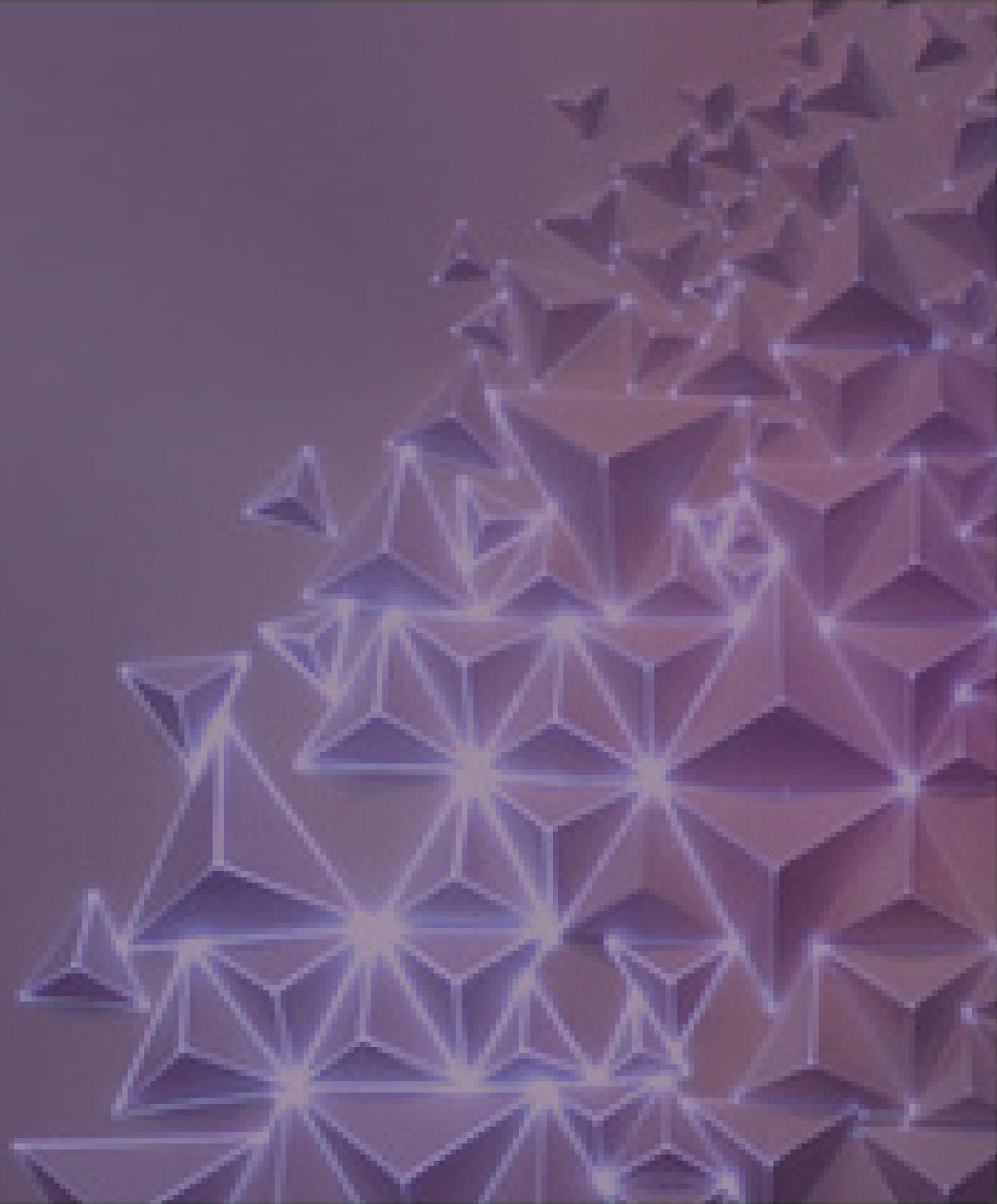
47 Plugging de programación visual que funciona en Rhinoceros

de simulación interactiva, entre otros.

El Diseño Computacional nunca ha estado libre de polémicas, en principio se trataba la pérdida de autoridad al existir gran intervención de las máquinas de diseño, pensamiento que sigue rondando esta rama de la disciplina. La autoría en alternancia parecía una buena forma de entender cual es el rol de cada elemento utilizado para generar diseño. Pero, ¿Realmente es relevante la autoría? DC, el fin tiene que ver con la exploración y la manipulación de la información para optimizar, seleccionar y producir.

Podríamos afirmar que somos arquitectos de la información, que manejamos variables de entrada y de salida, entendemos los cambios que experimenta la data al pasar por cada proceso, la diagramamos para que pueda ser leída de la mejor forma posible. Este manejo lleva a resultados formales que provienen de información, ya sea de requerimientos de contexto, clima, objetivos, etc. Los diseñadores se preocupan de la forma informada y particular.

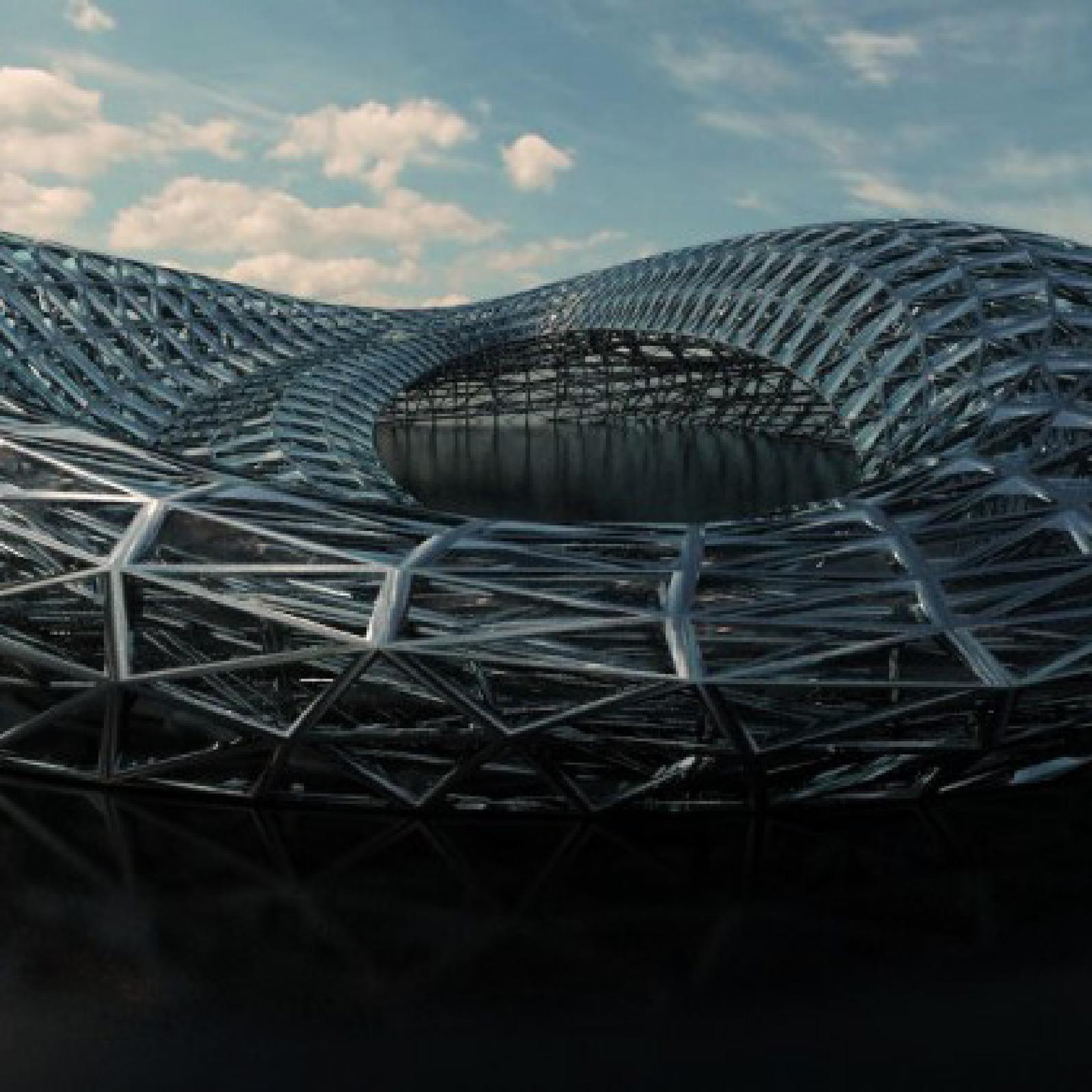
Ejemplos tempranos de este manejo de información se pueden ver en los presentados como el Terminal Portuario de Yokohama, en donde la redundancia de información resulta en una geometría evolutiva, hipercontinua, dinámica, sumamente diferenciada en momentos gracias a la multiplicidad funcional de los espacios. Si bien es cierto, la tecnología nos ha permitido explorar lo inexplorable, en algunos casos se ha generado una cierta dependencia de las herramientas de modelado paramétrico, generando una camisa de fuerza en algunos casos, permitiendo que el alcance del software lidere la emergencia formal.





| 04

TEORÍAS DE DISEÑO  
COMPUTACIONAL: ENCUENTRO ENTRE  
EL PARADIGMA DE COMPLEJIDAD Y  
LA TECNOLOGÍA.



## 4. teorías de diseño computacional: encuentro entre el paradigma de complejidad y la tecnología.

Para entender el nacimiento de las Teorías de Diseño Computacional, hay que tener claros los desarrollos paralelos, por un lado, Teorías de Complejidad provenientes desde la filosofía, la matemática y la termodinámica y la relevancia que adquirieron durante la época del 70. Por otro lado, Los Desarrollos Tecnológicos también evolucionaron en pos de la eficiencia en diferentes ramas, como la automotriz, la industria y la arquitectura.

Ambas disciplinas tienen su encuentro durante la década del 90 comenzando un nuevo período en que las limitaciones materiales no son excusas para la restricción formal, por el contrario, impulsan la exploración escapando de la forma euclidiana proyectada por los arquitectos predecesores. Estas convergencias dan paso a nuevas metodologías de diseño o TDC.

Los primeros arquitectos digitales<sup>48</sup> son quienes entienden la arquitectura como un sistema complejo compuesto de diferentes criterios que al interactuar dan como resultado la emergencia de una situación, evolución o mutación. La adopción de tecnologías provenientes desde otras disciplinas, les permitió la flexibilidad del proceso exploratorio e investigativo. En principio, examinando sistemas dinámicos buscando expandir la disciplina, a través de la reincorporación del cálculo en el diseño (Lynn, 1998).

Los sistemas complejos aportan al estudio de la complejidad en la arquitectura. A raíz de su incorporación, es posible desarrollar problemas de alto grado de complejidad sin caer en el reduccionismo (Alexander, 1964), por el contrario, a mayor información más diferenciado es el proceso y el resultado de un diseño. En el siguiente texto, se presentan las relaciones que se generan entre las disciplinas formando las TDC, cuales son los conceptos que adquieren y las tecnologías que utilizan para llevar a cabo su metodología de diseño. Además se exponen las distintas TDC que han emergido a partir de estas convergencias.

.....

48 Greg Lynn, Stan Allen, Bernard Tschumi, Bernard Cache, SHOP.

## 4.1. TDC: La emergencia

Las TDC encuentran sus inicios a principios de los 90 de manos de un grupo de arquitectos quienes influenciados por teorías de complejidad y teniendo la habilidad en el uso de herramientas CAD, logran hacer uso de conceptos arraigados a la filosofía, matemática y termodinámica en pos de complejizar la morfología inexplorada por las metodologías de diseño que le preceden, en donde la optimización y la funcionalidad llevan a la reducción (Alexander, 1964) y por ende a la simetría consolidada en formas simples (Lynn, 1998).

Un ejemplo de estas exploraciones se encuentra en el trabajo de Greg Lynn Form “Casa Embriológica” (imagen 4.1) proyectada entre 1997 y 2001. Este proyecto busca a partir de la interacción de parámetros<sup>49</sup> la emergencia de una forma dinámica y evolutiva con variaciones infinitas controladas a partir de las cuantificaciones descritas inicialmente (Ortega, 2013). Para su eficiente visualización se utilizó el software Maya que permitió la renderización del proceso formal.

La complejidad de las formas obligó al diseñador a pensar desde el material, construyendo maquetas, utilizando técnicas de prototipado y fabricación, con el fin de demostrar la factibilidad constructiva de nuevas formas disímiles a las ya conocidas geometrías euclidianas. Cada una de estas tecnologías vienen a apoyar un proceso caótico y cargado de incertidumbre, de difícil y casi imposible implementación y acceso análogo que busca el hallazgo de forma a partir de la generación de la morfogénesis (Kolarevic, 2003).

Solo en este proyecto nos encontramos con la implementación de dos tecnologías CAD acompañadas de conceptos provenientes desde el Paradigma de Complejidad como “variación”, “emergencia”, “dinamismo” y “evolución”. Este ejemplo nos demuestra que el proceso de diseño implica complejidad. El diseñador maneja una multiplicidad de conocimiento para solucionar problemas de diseño (Pirela, 2012), pero los criterios que pueden manejar para plantearlos son finitos.

El diagrama presentado a modo de rizoma (imagen 4.2), expone los distintos nexos

.....

49 La composición de las formas se logró haciendo uso del software Microstation

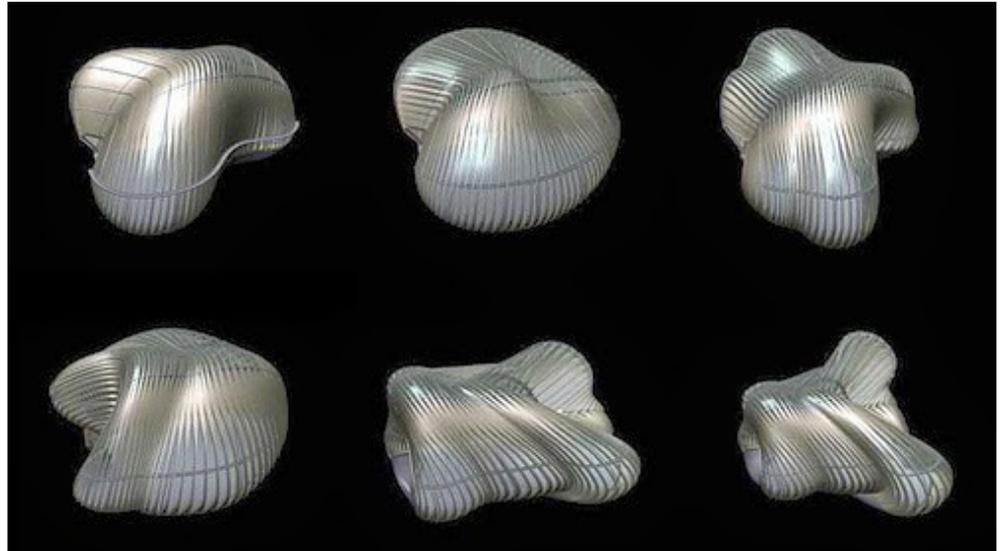


Imagen 4.1

Casa Embriológica, Greg Lynn  
Form (2007).

Fuente:

Sara Gutiérrez, Ceros y unos y  
el Proceso Numérico User

entre las disciplinas formando una heterogeneidad entre paralelismos (diferenciados por distintos colores), aunque reconocibles entre sí, trabajan en conjunto a favor de la emergencia de las teorías de diseño computacional, logrando el reconocimiento e incorporación de sistemas complejos en el proceso de diseño, reflejado en su impacto en la arquitectura y el cambio de perspectiva que produjo.

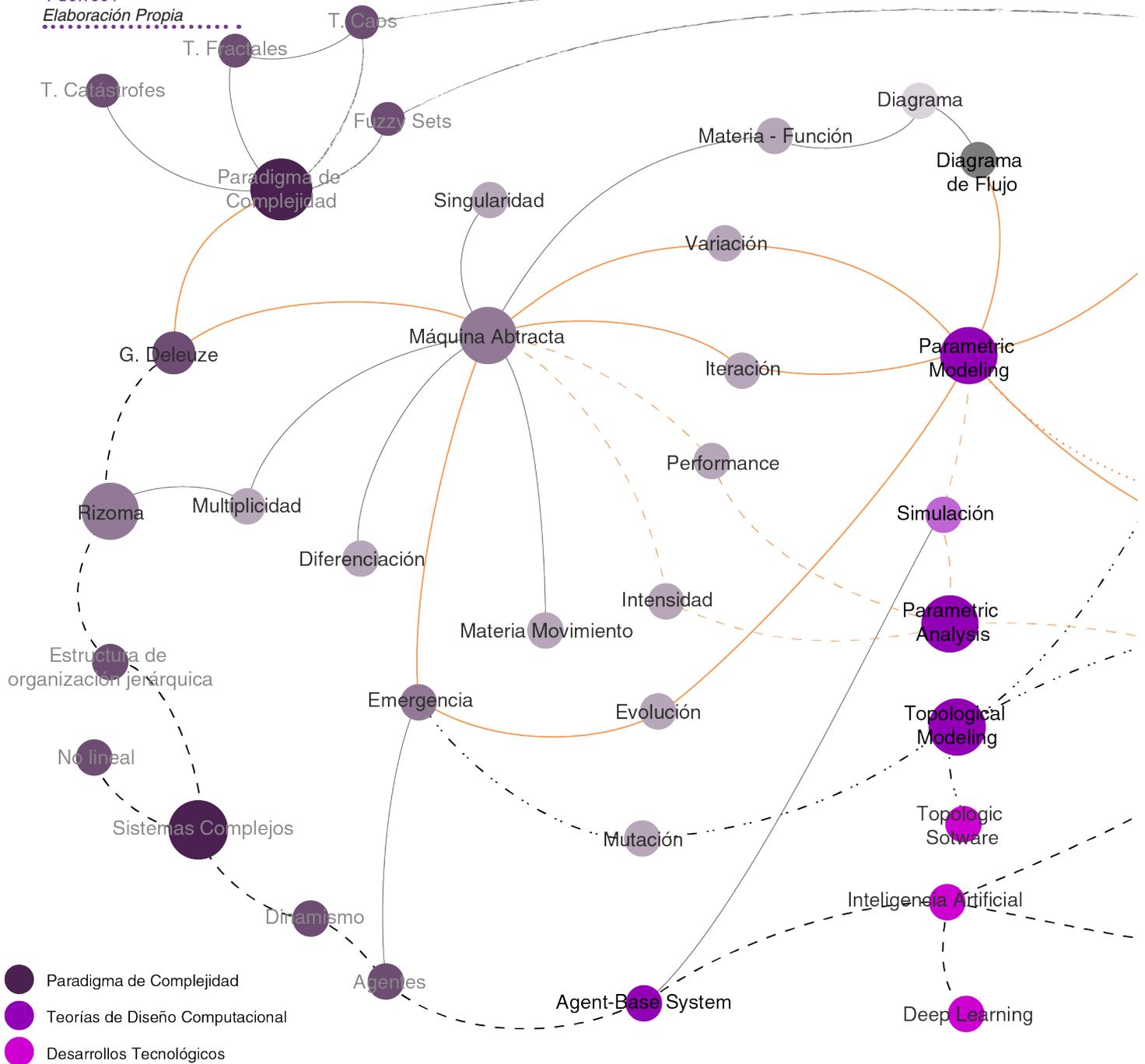
Ahora el diseño está sobre informado, logrando además de acceder a la exploración formal, diseñar momentos singulares y diferenciados que responden a la información cuantificada para el proceso generación, logrando geometrías evolutivas, complejas e hiperconectadas, de la mano de máquinas abstractas diagramáticas construidas a partir de sistemas CAD.

A partir de las relecturas del Paradigma de Complejidad (PC) hechas por Deleuze y Guattari (1988) nos encontramos con nociones utilizadas hasta el día de hoy que son propias del lenguaje computacional en la arquitectura. Conceptos como diagrama, utilizado como elemento de síntesis y organización de información con características generativas (Allen, 1998), en pos de la emergencia, evolución o mutación.

A fin de cuentas, el campo de la arquitectura digital se compone de disciplinas importadas desde ámbitos completamente disímiles, pasando por la matemática, la termodinámica, la biología, la filosofía, la tecnología y la psicología. Por un lado, se

Imagen 4.2  
Rizoma Convergencias TDC.

fuentes:  
Elaboración Propia





determina un proceso de convergencias y por otro un momento de divergencia en donde cada TDC comienza a adoptar características propias y complementarias que engloban diferentes planos dentro de lo que se denomina Design Computing, así es como encontramos metodologías enfocadas a la generación, a la simulación, la selección y la fabricación.

Parametric Design<sup>50</sup> (PM), es una de las teorías de diseño base para el funcionamiento de gran parte de las TDC, nace como una forma de controlar todo el proceso de diseño (Duarte, 2015). Entendido como diagrama de flujo (imagen 49 líneas continuas naranjas), funciona como máquina abstracta por su característica inmaterial, recoge nociones de emergencia, evolución y variación de la mano de softwares de modelado paramétrico como PTC, CATIA, Grasshopper, entre otros. Permite instanciar complejas geometrías a través de la formalización cuantitativa de reglas, restricciones y/o protocolos abriendo un campo de exploración denominado “espacio de diseño”.

Esta TDC es de carácter caótica en el sentido de que, el manejo en los rangos de los de los parámetros emulan al conocido efecto mariposa. Todo cambio desde el más pequeño puede afectar al total del diseño, local o globalmente hablando, presentando un grado de incertidumbre al no tener claros los efectos de dicho cambio.

PM corresponde a un sistema CAD que tiene sus orígenes en los desarrollos de “representación geométrica” compuesta por tecnologías tales como: Relational Database, CSG, BRep y Operaciones Booleanas. Dentro de las ramificaciones de PM se encuentra Parametric Analysis (PA) que adopta nociones de intensidad, performance e iteración en conjunto con métodos de simulación, ahora no solo es posible generar formas complejas, sino también es posible simular su funcionamiento, ya sea estructural, bioclimático, etc.

PA deriva directamente a la TDC de Performance Based Design (Kalay, 1999). A diferencia de antiguas metodologías de diseño de características lineales (Oxman, 2006), en donde se concreta el proyecto en base a etapas progresivas (imagen 4.3),

.....

50 Desarrollo del diseño paramétrico fue fomentado por Universidades como, California College of Arts (CCA), University of Southern California (USC), Berkeley University, Cal Poly and MIT.

PBD es de carácter no lineal (imagen 4.4), recibiendo constantes feedback dentro del proceso de diseño y los resultados obtenidos, lo que integra la opción de iterar hasta lograr la forma más óptima, que responda a los objetivos de diseño.

Simulación no sólo se encuentra en modelos paramétricos, existen otros métodos

Imagen 4.3  
Proceso de Diseño Lineal.  
Fuente:  
Elaboración Propia.

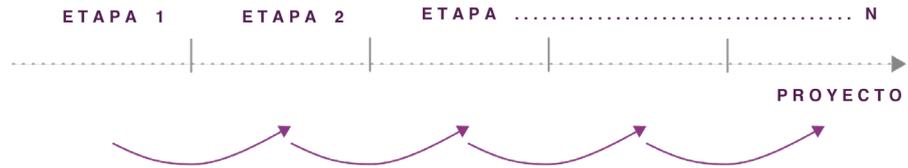
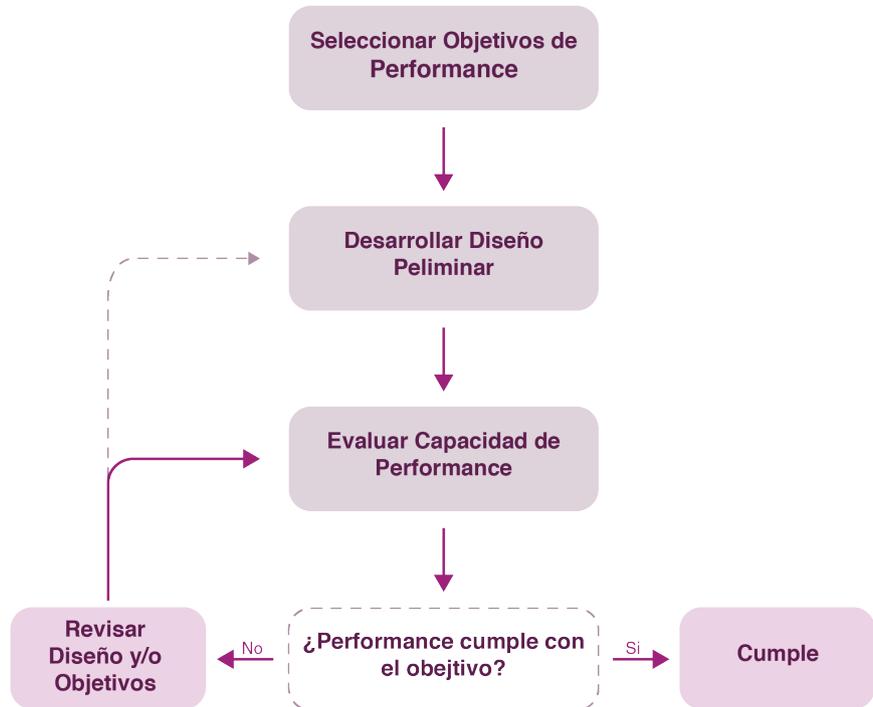


Imagen 4.4  
Diagrama de Flujo PBD.  
Proceso de Diseño "No Lineal".  
Fuente:  
Hamburguer, 2003.



de generación como Agent-Based System<sup>51</sup>, basado en la interacción de agentes simples en sistemas complejos, su uso inicial radica en simulaciones biológicas capaces de vaticinar, por ejemplo, el crecimiento de una población basado en data y permite entender parcialmente (debido al grado de incertidumbre presente) el comportamiento de dicha población. Sus acercamientos a la arquitectura son recientes teniendo aplicaciones en propagaciones digitales y materiales a partir de un criterio que permite la emergencia de fuerzas que se auto organizan (Lynn, 1998).

Como emergencia entre PM y toda su carga teórica deleuziana y Building Product Models<sup>52</sup> nace BIM<sup>53</sup> una TDC que genera y administra información de construcción, permite integrar y reutilizar información a lo largo del ciclo de vida de un edificio (Eastman C. , 1999). Funciona como modelo de integración con características generativas y evaluativas de la mano de software como Archicad (Graphisoft) y Revit (Autodesk) es posible obtener representaciones 2D a partir de modelos 3D, lo que es un giro importante en el planteamiento anterior del diseñador.

Un modelo 3D ya no solo es utilizado para la representación, sino que es parte importante del proceso constructivo, pudiendo manejar información material (estructura y revestimiento), temporal (planificación, carta Gantt) nombrado como “cuarta dimensión” (4D) y una quinta dimensión atribuida a los costos, desde la cantidad de material a utilizar (cubicación), hasta los detalles más pequeños, como luminarias y quincallería.

Un modelo de selección como Decision Making adopta la incertidumbre proveniente del Paradigma de Complejidad. Se trata de encontrar la mejor opción dentro de un espacio de diseño explorado en un PM a partir de la generación que obtenemos en base a parámetros y las intensidades del performance. Es posible reducir el espacio de diseño a partir de la toma de decisiones según ventajas comparativas (Parrish & Tommelein, 2009), por métodos estadísticos (Regression Models), entre otros.

.....

51        Corresponde a un tipo de Inteligencia Artificial.

52        Desarrollo Tecnológico que presenta todo el marco matemático utilizado para la creación de BIM

53        Building Information Modeling

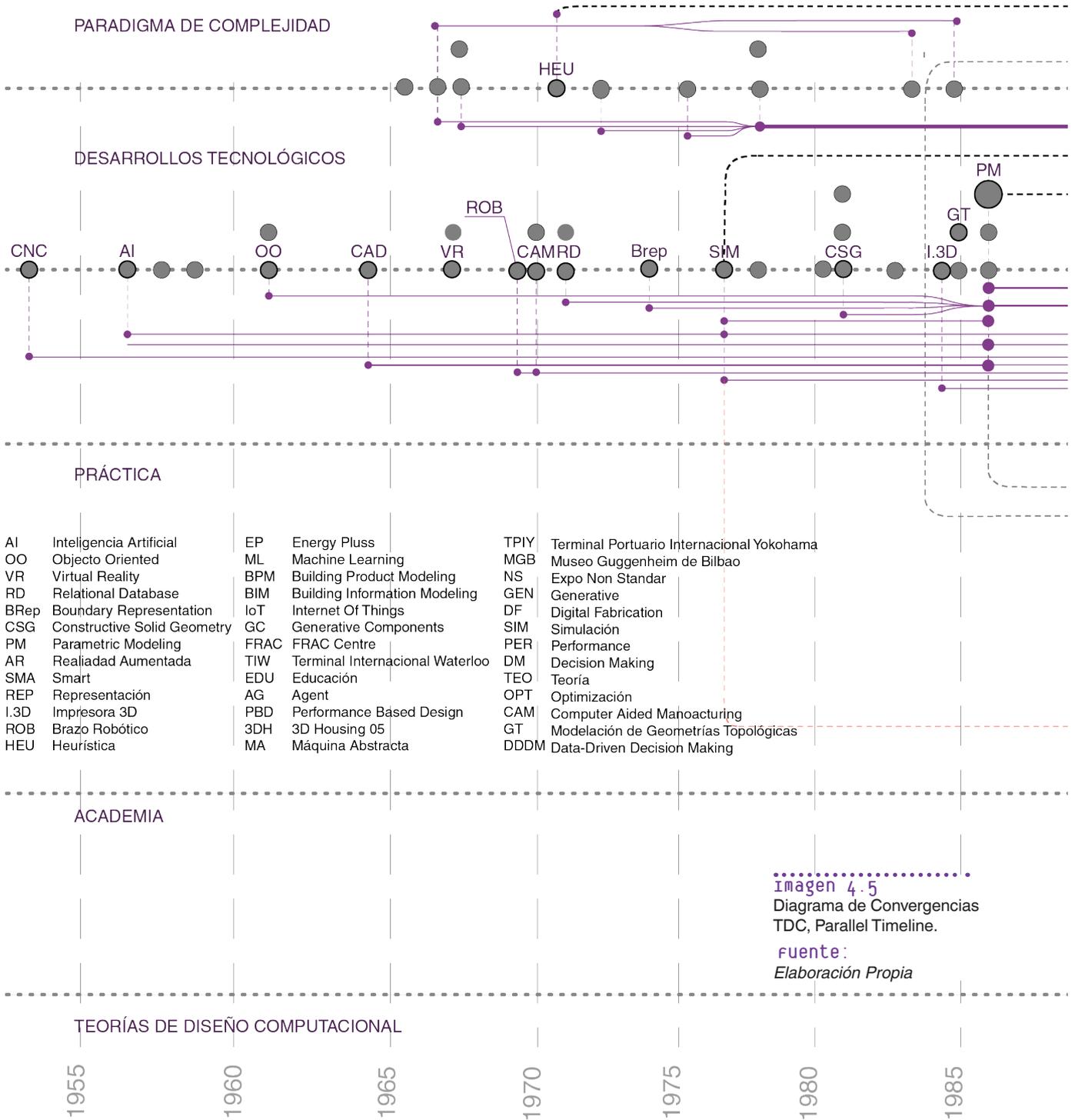
El nexo común de cada uno de los modelos de generación, evaluación, selección e integración tiene que ver con el uso e implementación de la información (data) y cómo codificamos esta para el entendimiento del diseñador. Existen formas de visualizar la data proveniente del performance a través de técnicas como Parallel Coordinates de Perkins + Will o Fractal de Autodesk que influyen a la hora de la toma de decisiones.

A modo de entender los procesos que llevaron a la emergencia de las TDC el diagrama expuesto en la imagen 4.5, presenta cada una de las disciplinas en su correspondiente línea de tiempo exponiendo cada una de las evoluciones tanto en el desarrollo de estas mismas como en los nexos con la práctica y la academia que permiten poner en contexto las proyecciones del escenario actual liderado por cuatro corrientes teorías de diseño computacional en el área de generación, simulación, selección y fabricación, que se encuentran en proceso de investigación y aplicación y que serán tratadas en el capítulo 5.

En el área de generación, el panorama comienza a trasladarse desde Parametric Modeling a Topological Modeling, a raíz de las limitaciones de PM con respecto a los límites del espacio de diseño, y el cambio en el discurso arquitectónico que busca una expansión de este a través de la aplicación de modelos generativos de carácter topológicos que implementa la noción deleuziana de mutación en el proceso de diseño.

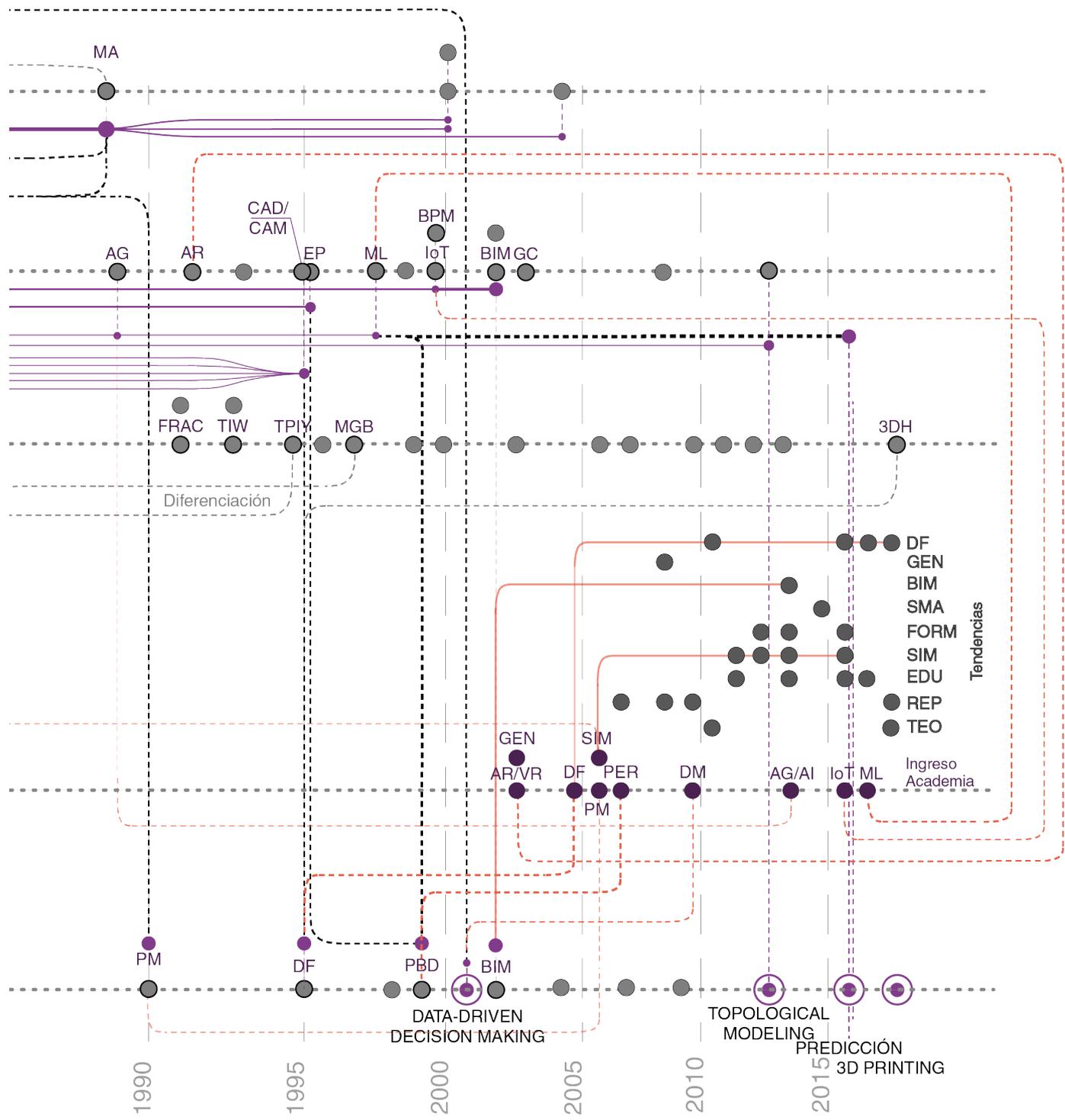
Dentro de los métodos de selección las corrientes se dirigen desde Simulación a Predicción, a través de la vinculación de las nuevas tecnologías de la academia y la arquitectura a partir de aplicaciones de inteligencia artificial. Para optimizar un proyecto, es necesario simular aplicando TDC como PBD, cada una de las alternativas de diseño provenientes del modelo paramétrico, estas pueden superar fácilmente las mil opciones, la simulación a través de sus intensidades permite reducir el espacio de diseño entregando data de aquellas que funcionan y las que no. La aplicación de los modelos estadísticos también apoya a esta reducción, pero ¿Es posible dejar de simular y predecir? Estudios tempranos de predicción haciendo uso de Machine Learning permitirían lograr esta premisa.

Vivimos en la era de las Tecnologías de Información (TI), en donde casi no es posible mantenernos desconectados y desinformados. En el proceso de diseño, la informa-



AI	Inteligencia Artificial	EP	Energy Plus	TPIY	Terminal Portuario Internacional Yokohama
OO	Objeto Oriented	ML	Machine Learning	MGB	Museo Guggenheim de Bilbao
VR	Virtual Reality	BPM	Building Product Modeling	NS	Expo Non Standar
RD	Relational Database	BIM	Building Information Modeling	GEN	Generative
BRep	Boundary Representation	IoT	Internet Of Things	DF	Digital Fabrication
CSG	Constructive Solid Geometry	GC	Generative Components	SIM	Simulación
PM	Parametric Modeling	FRAC	FRAC Centre	PER	Performance
AR	Realidad Aumentada	TIW	Terminal Internacional Waterloo	DM	Decision Making
SMA	Smart	EDU	Educación	TEO	Teoría
REP	Representación	AG	Agent	OPT	Optimización
I.3D	Impresora 3D	PBD	Performance Based Design	CAM	Computer Aided Mhaoturing
ROB	Brazo Robótico	3DH	3D Housing 05	GT	Modelación de Geometrías Topológicas
HEU	Heurística	MA	Máquina Abstracta	DDM	Data-Driven Decision Making

Imagen 4.5  
 Diagrama de Convergencias  
 TDC, Parallel Timeline.  
 fuente:  
 Elaboración Propia



ción y su conexión también son relevantes para la construcción de un modelo, ya sea de carácter paramétrico o topológico. La simulación nos arroja información significativa para el proceso posterior que tiene que ver con la toma de decisiones ¿Cómo tomamos decisiones en base a tal cantidad de información, cómo representamos esa data? Esas preguntas dirigen la Heurística a la Toma de Decisiones Dirigida en base a Data o Data-Driven Decision Making (DDDM).

Las metodologías de producción siempre están a la vanguardia en busca de nuevas técnicas para la construcción de distintas y complejas formas, así es como Fabricación Digital (DF) lleva algún tiempo perfeccionando técnicas de impresión 3D a partir de tecnologías híbridas impactando cada vez más en la personalización del diseño y en su producción apelando a la eficiencia de la industria. Los FabLabs adquieren gran relevancia no solo en la práctica sino también en la academia y educación, su impacto ha llevado a un cambio de paradigma en la arquitectura, logrando la consolidación de las exploraciones llevadas a cabo a través del proceso de diseño.

## 4.2. Discusión

Las TDC son la consolidación de la convergencia entre PC y DT cada una de estas se comenzó a desarrollar en distintas ramas, generación, simulación o selección que generalmente colaboran entre sí formando metodologías de integración. No es posible concebir un TDC de simulación sin haber generado antes y es aún de mayor dificultad tomar decisiones, si es que no hay una simulación que la avale.

Las raíces filosóficas de las TDC radican en cómo estas manejan y explican la complejidad, así es como se encuentran nociones de caos, máquina abstracta, variación, iteración y evolución en PM; intensidad en PBD; mutación, en Topological Modeling; de sistemas complejos dinámicos en Agent-Based Design; de potencial en Design of Experiments. Cada una de estas nociones presentes en el lenguaje arquitectónico computacional manejan las diferentes multiplicidades y criterios para la construcción de un diseño siempre en busca de la singularidad y la diferenciación.

Los distintos desarrollos tecnológicos ya sean CAD o CAM vienen a apoyar la construcción de esos escenarios complejos consolidados en geometrías hipercontiguas,

diferenciadas, evolutivas, discontinuas e incluso caóticas. Conociendo ambas raíces y como se usa tanto en la práctica como en el lenguaje que guía la práctica, es difícil pensar en concebir uno sin el otro, no es posible manejar parámetros sin que emerja la forma, es imposible simular sin trabajar las intensidades de los indicadores a medir. El lenguaje está compenetrado y complementado como si nunca hubiesen estado separados.

El cambio de Paradigma que generó dicha convergencia repercute hasta el día de hoy. La forma de diseñar ya no era la misma, los principios de diseño estaban basados en el cálculo que en principio Lynn quería reincorporar y que por lo demás logró. La cuantificación del diseño dio comienzo a un proceso de reducción de incertidumbre informada que permite la consolidación de geometrías de alta complejidad.

Definitivamente es posible distinguir una corriente arquitectónica completamente nueva a partir de los 90 implementando una distinta forma de operar, no solo por la incorporación de tecnologías cada vez más sofisticadas, sino también por la metodología utilizada al hacerlo, reemplazando un proceso de diseño lineal, por uno basado en la iteración y el feedback constante que sólo enriquecen el proceso de diseño de información, y singularidades.

Las TDC han evolucionado, mutado y divergido en distintas ramas perfeccionando sus métodos y técnicas cada vez más. Al día de hoy los más eruditos están comenzado a implementar aplicaciones de inteligencia artificial. Reconocimiento de patrones y comportamientos arraigados a metodologías de simulación y selección serían el camino más vanguardista en el escenario actual junto a las técnicas para su producción.





| 05

PROYECCIONES



## 5. PROYECCIONES

### 5.1. Desde parametric modeling hasta topological modeling

Dentro de las Teorías de Diseño Computacional de características generativas, el modelo paramétrico toma el dominio en la escena práctica y teórica, siendo base para otras metodologías por su factible acceso al lenguaje e interfaz, generando un impacto a la hora de diseñar e investigar la arquitectura. Quienes hacen uso de herramientas de modelado paramétrico experimentan una evolución cognitiva al momento de pensar los diseños prevaleciendo la cuantificación por sobre la cualificación.

En donde juegan un rol relevante la creación de diagramas de flujo para transcribir la data proveniente desde criterios como estructura, medio ambiente y contexto, cada uno de estos factores trabajan en conjunto para generar geometrías complejas que tienen la factibilidad de ser exploradas a partir del control de sus parámetros generando una actualización automática en el momento modificado<sup>54</sup>. Ya no se asocia la arquitectura al objeto si no al PM en donde el objeto pasa a ser una instancia<sup>55</sup> de diseño.

Softwares como Dynamo, Grasshopper, Bim (Revit, Archicad) y Vectorworks, utilizan la metodología de modelado paramétrico permitiendo una flexibilidad, tanto geométrica como a nivel de interface logrando que cualquier diseñador instruido pueda utilizar estas tecnologías a favor de la interacción entre parámetros en busca de la emergencia.

A pesar de sus características de búsqueda y de su aporte al Diseño Computacional, PM presenta algunas restricciones formales que generan conflicto con estudios sobre Diseño Cognitivo en etapas tempranas. El nivel de variación presente se acota a

.....

54 La modificación puede ser global, manipulando parámetros que manejan la totalidad del diseño o local, en donde se controla un momento en particular.

55 Se llama instancia a todo objeto que derive de algún otro. De esta forma, todos los objetos son instancias de algún otro.

su tipología limitando la flexibilidad generativa a nuevas opciones de diseño, definiendo además un número finito de alternativas exploratorias que componen el Espacio de Diseño.

Como respuesta a estas limitaciones, se ha estado investigando y probando a través de distintas técnicas de Topological Modeling, sistemas que permitan ampliar el espacio de diseño a través de la búsqueda de una metodología que permita romper la estructura jerárquica del modelado paramétrico y permita expandir el campo de exploración de alternativas, disminuyendo así la brecha entre la generación de alternativas de tipologías similares y la generación de alternativas basadas en la mutación.

### 5.1.1 Parametric Modeling: cambio del discurso arquitectónico contemporáneo

Parametric Modeling corresponde a una TDC de carácter generativo que permite construir geometrías complejas definidas en base a reglas, constricciones o protocolos expresados como parámetros dentro de funciones algebraicas en donde la forma es automáticamente regenerada, cuando alguno de sus parámetros varía. Nace como una forma de controlar y cuantificar<sup>56</sup> el proceso de diseño (Duarte, 2015).

La importación de las tecnologías paramétricas proviene desde la aeronáutica, quienes encontraron el potencial en la regeneración de la forma para simular y optimizar la construcción de las curvas aerodinámicas características, invirtiendo en pos de las mejoras técnicas del software. No fue hasta la década del 90 que el mundo de la arquitectura adoptó estas tecnologías.

Según Eastman (2011), dentro de las características paramétricas cabe destacar:

- Los soportes para las capacidades algebraicas y trigonométricas.
- La ramificación de condiciones y reglas de escritura que pueden asociar

.....

56 Reencuentro entre el diseño y el cálculo buscado por Greg Lynn a principios de la década del 90.

características de instancia<sup>57</sup> a un objeto.

- Entrega la libertad para crear objetos a través de enlaces entre estos.
- Capacidad de ampliar las clases de objetos existentes, de modo que pueden emerger nuevas estructuras impensadas.
- Control de parámetros a través de la definición de rangos.

La utilización de herramientas paramétricas permite resultados de geometrías únicas, complejas y altamente informadas en pos del hallazgo de forma, en donde la emergencia está directamente relacionada con la generación (imagen 5.1) o morfogénesis provenientes desde la naturaleza, formas fractales tales como corales y vegetales inspiraron las primeras exploraciones de estas “formas animadas”<sup>58</sup> (Lynn, 1999).

Como ventaja y consecuencia de la transición desde tecnologías CAD<sup>59</sup> de modelos explícitos a modelos paramétricos, se encuentra el manejo de criterios para la construcción del diseño y la actualización particular o global del objeto disminuyendo el margen de error, por ejemplo, si el diseñador dibuja una ventana para un edificio,

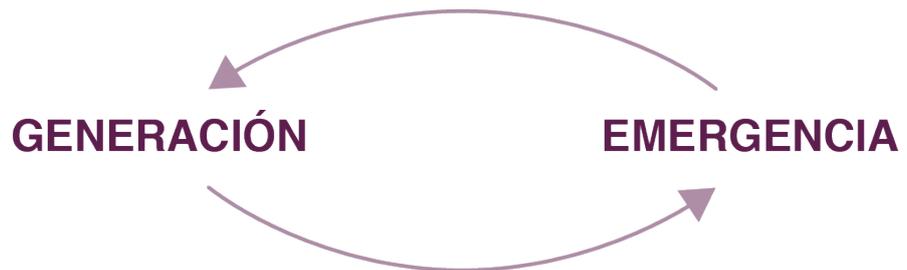


Imagen 5.1  
Relación Generación - Emergencia.  
fuente:  
Elaboración Propia.

tendrá una tipología de estas, resulta que el proyecto podría tener 10 tipologías distintas, por lo que tendrá que redibujar cada una según sus características. PM permite

57 La instancia es entendida como todo objeto que derive de algún otro.

58 La noción de animate form, proviene de la imagen en movimiento, relectura hecha por Deleuze de Henry Bergson.

59 La diferencia entre ambas técnicas radica, por ejemplo, en que los primeros sistemas CAD dibujan puntos en la pantalla, mientras que PM ingresa las coordenadas

variar las tipologías según parámetros y sus relaciones, lo que genera una eficiencia en cuanto al tiempo empleado.

Denominado por Lynn y Kipnis como diseño automático de continua diferenciación, el modelo paramétrico busca la singularidad dejando de lado la implementación de partido general. De esta manera las distintas geometrías nacen en base a multiplicidades que le entregan características evolutivas e hipercontinuas proporcionando un nuevo lenguaje arquitectónico que se aleja de la estructura metodológica mecánica y lineal, plasmando un ciclo de innovación tanto en el diseño, como en la máquina que genera para lograrlo.

El cambio de paradigma tiene tal magnitud que ahora pensamos el diseño desde su cuantificación, desde su parametrización. En donde podemos generar geometrías informadas desde las restricciones de rangos definidos que pueden provenir desde el diseñador como objetivos de diseño o desde el contexto a través de criterios ambientales o estructurales.

La serie de protocolos plasmados en parámetros se trabajan como máquinas diagramáticas o abstractas, en donde la relevancia y belleza radica en el proceso. Tiene un carácter inmaterial en donde no necesariamente emerge lo esperado, manteniendo el nivel de incertidumbre proveniente entre la interacción caótica entre parámetros. Cada modelo paramétrico especifica un espacio de diseño definido como la estructura de red de diseños relacionados que se visitan en un proceso de exploración, por ende, cada instancia pertenece al espacio de diseño.

Las escuelas de arquitectura se han convertido en laboratorios de experimentación para la creación de máquinas abstractas que llevan la exploración formal al límite con el fin de poner también a prueba la experimentación material, buscando nuevas alternativas para consolidar estas geometrías extremas. Este límite ha ido disminuyendo con la aparición de nuevas y distintas técnicas de fabricación. Algunos de los precursores en estas investigaciones son UNStudio, William Massie, SHoP, Asymptote, Jesse Reiser, Zaha Hadid, Ocean North, entre otros.

La velocidad en el crecimiento y progreso de la disciplina y sus distintas técnicas tanto de generación como fabricación, se deben a la formación temprana de arquitectos

en las distintas escuelas (MIT, Carnige Mellon, Columbia, Harvard, UCLA, etc.) que disponen de las herramientas y conocimiento necesarios, estando dispuestos a la experimentación e investigación.

Esta TDC no está exenta de detractores y desventajas. El aparente desapego del contexto llevado a la virtualidad, en momentos genera desescalamientos y desproporciones en el diseño. La noción de prototipado, también aporta a esta desventaja de forma que vemos el diseño como objeto fuera de su contexto sin comparación dimensional.

El diseñador también encuentra sus limitaciones en las primeras etapas de habilidad al no tener un completo manejo de los softwares necesarios para la implementación del modelado paramétrico. La resistencia a la exploración en etapas tempranas llevadas a cabo por la inexperiencia del diseñador<sup>60</sup> que eventualmente podría establecer una fijación formal que satisfaga visualmente a este (Bernal, 2015). Lo que lleva directamente a la distracción del proceso de exploración.

Como se mencionó anteriormente, para cada uno de estos diseños existe un espacio de diseño compuesto de cada una de las mezclas geométricas provenientes de

.....

60 Esta desventaja va a depender de los niveles de experiencia del diseñador, entre estos se encuentran:

**Principiante**, tendrá en cuenta las características objetivas de una situación, ya que están dadas por los expertos, y va a seguir reglas estrictas para lidiar con el problema (Dorst, 2007).

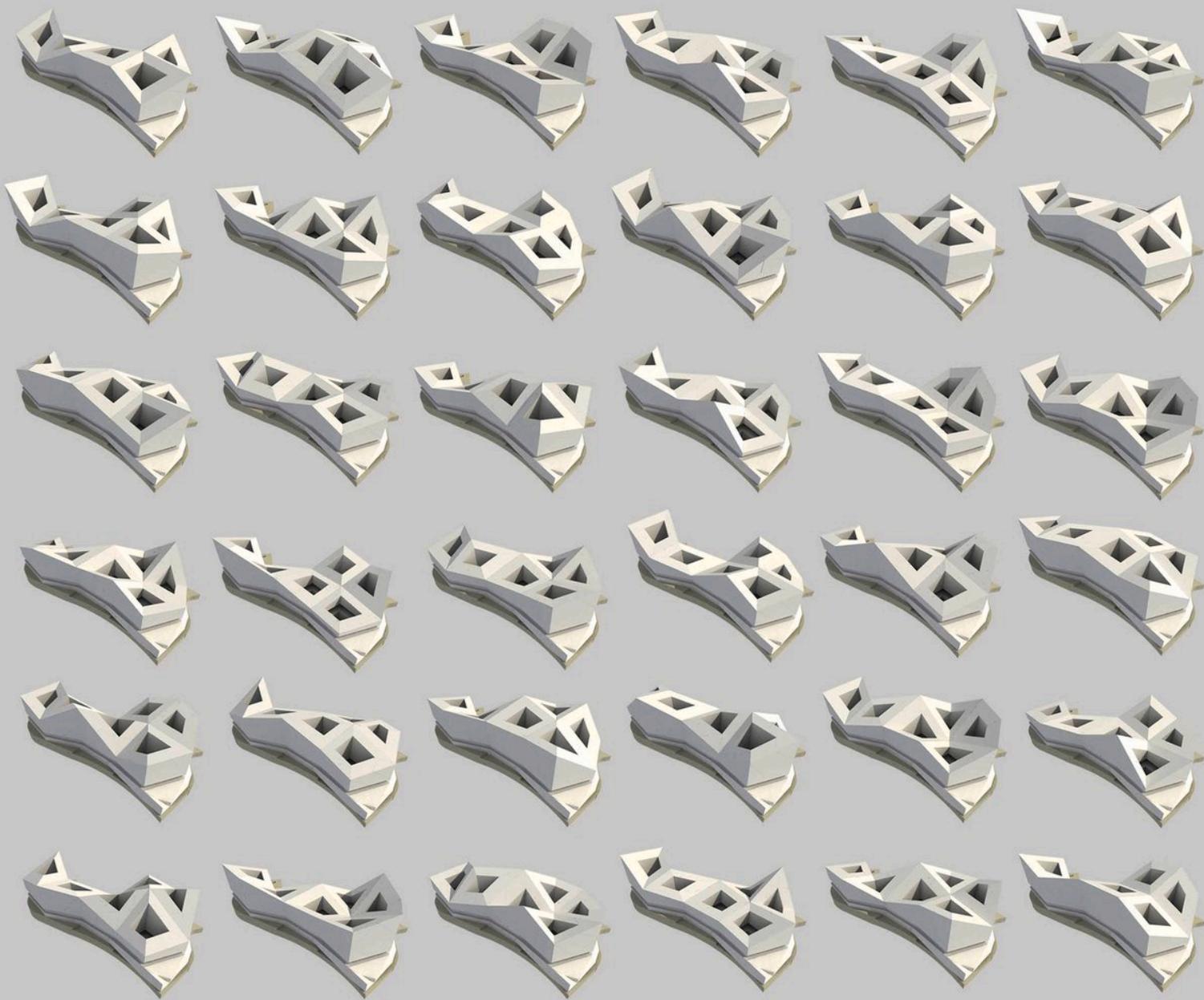
**Begginer**, Los aspectos situacionales son importantes, hay una sensibilidad a las excepciones a las reglas “duras” del principiante. Las máximas se utilizan como guía a través de la situación del problema (Dorst, 2007).

**Competente**, funciona de una manera radicalmente diferente. Él selecciona los elementos de una situación que son relevantes, y elige un plan para lograr las metas (Dorst, 2007).

**Experto**, responde a la situación específica de manera intuitiva, y lleva a cabo la acción apropiada, inmediatamente (Dorst, 2007).

**Maestro**, ve inmediatamente los problemas más importantes y cómo llevarlo a cabo, luego razona el plan de acción (Dorst, 2007).

**Visionario**, responde a la situación específica de manera intuitiva, distingue y realiza la acción apropiada de inmediato (Dorst, 2007).



la máquina abstracta, cada una de las alternativas de diseño que provienen de las variaciones a partir de los cambios en los rangos de los parámetros lo definen, pero ¿Existe alguna limitación de dicho espacio?

## 5.1.2 Restricciones de parametric modeling: Búsqueda de expansión del espacio de diseño

Según Woodbury y Burrow (2006), la exploración del espacio de diseño se compone a partir de las acciones del diseñador para la resolución de problemas y el desarrollo de las estrategias para la ampliación de la acción del diseñador a partir de estructuras computacionales que permiten facilitar la construcción del espacio de diseño (DS) y la exploración de las alternativas.

Correspondiente a la estructura de red de diseños relacionados por su tipología, que se visitan durante la exploración, el DS consolida el razonamiento de los primeros arquitectos digitales, quienes buscaron la incorporación de dichas técnicas con el fin de investigar y crear un sinfín de geometrías de alto grado de complejidad.

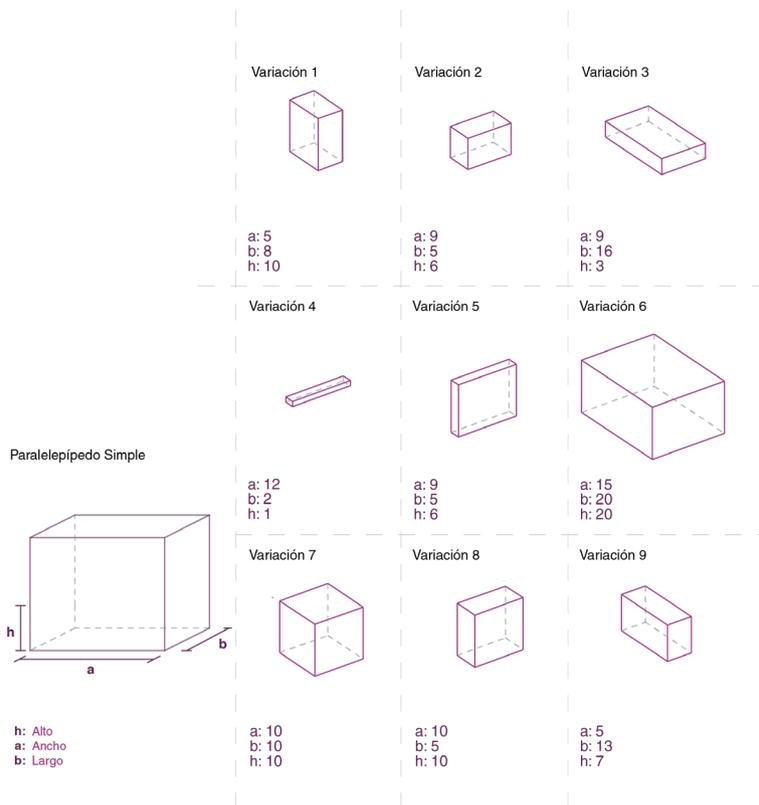
En sí, DS corresponde al esplendor de la máquina abstracta, el proceso en sí mismo. A modo de ejemplo, el proyecto Milad Complex Proposal (imagen 5.2) de la joven oficina ContemporarchitectURban Designer's Group, hace una exploración del espacio de diseño en busca de la reducción mantener una altura prudente en contraste a la existente Torre de Milad. Utilizando la forma piramidal, logra alcanzar las mayores dimensiones en los momentos precisos proyectándose así un edificio de carácter horizontal.

Dentro del diseño, pueden haber muchas alternativas que respondan a los mismos objetivos y restricciones para la resolución de problemas la exploración del espacio de diseño mediante la aplicación de herramientas paramétricas permiten evaluar y revisar cada una de estas posibles alternativas, esto genera un cambio radical en la forma de ver los proyectos de arquitectura, pensando en las metodologías predecesoras que solo trabajaban en pos de una alternativa de diseño para un espacio en específico y en el mismo período de tiempo.

• **Imagen 5.2**  
• Milad Complex Proposal /  
• ContemporARchitectURban  
• Designers Group.  
• **Fuente:**  
• ArchDaily.

Ahora si bien podemos revisar una gran cantidad de opciones de diseño, la pregunta que surge es ¿Cuál es el límite de las Máquinas Abstractas? Estas tienen un universo limitado de opciones que dependen de sus parámetros y rangos, en donde las geometrías pueden combinarse por la máxima libertad que quieran, pero dentro de su espacio de diseño. Por ejemplo, el espacio de diseño de un paralelepípedo simple representado en la imagen 5.3 de parámetros  $h= 1 < 10$ ;  $a= 1 < 15$ ;  $b= 1 < 20$  puede calcularse a través de la multiplicación de sus rangos en este caso podrían explorarse 3000 paralelepípedos distintos.

El modelo paramétrico y su espacio de diseño no solo tienen características de espacio finito, sino también se encuentran limitados por la imposibilidad de generar



• **Imagen 5.3**  
 • Catálogo de Variaciones de un Paralelepípedo Simple.  
 • Fuente :  
 • *Elaboración Propia.*

transformaciones topológicas definiendo campos generativos acotados. Para apoyar la expansión del espacio de diseño a través de la exploración, los diseñadores han comenzado a buscar alternativas de modelado topológico que permitan prevalecer las características de PM con respecto a la accesible manipulación de geometría, haciendo cambios radicales de esta (Bernal, 2016).

Pero, ¿Por qué aumentar el espacio de diseño? Según Dorst (2007) el diseñador experto en etapas tempranas tiende a estudiar alternativas paralelas de diseño, evitando centrarse solo en una. La utilización Topological Modeling viene a reafirmar y apoyar esas prácticas iniciales exploratorias que siguen siendo análogas en algunos casos.

### 5.1.3 Topological modeling: evolución como cambio cualitativo.

Si bien es cierto que los modelos paramétricos corresponden a la tecnología dominante para muchos modelos generativos, sus restricciones formales impiden la apertura del campo de exploración, limitando las prácticas cognitivas del proceso de diseño. Recientemente se han buscado alternativas que logren disminuir a este tipo de limitaciones a través del uso de aplicaciones de modelos topológicos.

Topological Modeling o TM corresponde una TDC tiene la cualidad de generar cambios formales en las geometrías más allá de su estructura jerárquica a través de la mutación de los elementos. Existen diversas formas de generar TM las cuales comparten metodologías similares, al preestablecer de reglas genéricas abstractas a modo de Meta Modelos (MM) que evitan preconcebir formalidades.

Estos MM permiten lograr una abstracción de la estructura extrayendo la semántica y las relaciones específicas de un dominio (Bernal, 2016). De características abstractas y generales, los meta modelos, permiten generar una amplia variedad de casos. La condicionante de generalidad admite especificar gradualmente las definiciones<sup>61</sup>,

.....

<sup>61</sup> Requerimientos como áreas, adyacencias, materiales y costos pueden calcularse antes de a definición de la geometría.

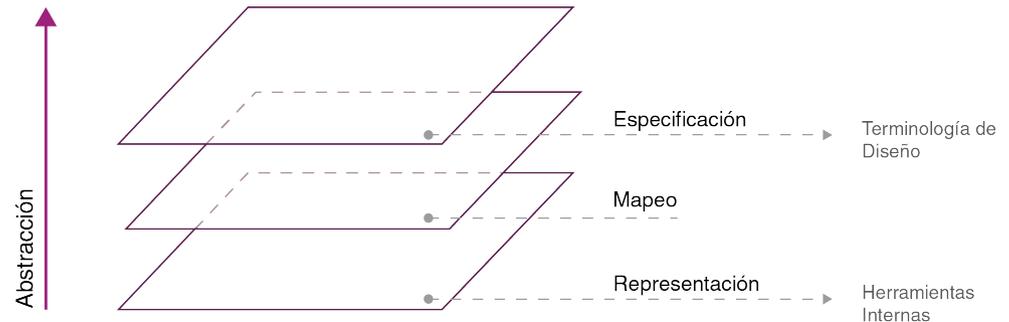


• **Imagen 5.4**  
 • Catálogo de Variaciones de un Paralelepípedo Simple.  
 • **fUente:**  
 • *Elaboración Propia.*

cuidando siempre el no caer en una prescripción geométrica. El ejemplo de la imagen 5.4, muestra aplicaciones de meta modelos, para la creación de topologías relacionadas a la generación de un hábitat en Marte<sup>62</sup>.

Aísla la representación gráfica geométrica de la especificación, lo que posibilita el mapeo posterior a partir de modelos paramétricos, por lo que cada modelo topológico corresponde a un potencial PM. Consta de tres etapas, la primera de especificación de terminologías de diseño de forma abstracta y general sin una vinculación entre objetos. Luego el mapeo o la creación de la plantilla<sup>63</sup> y por último la representación, en donde se vincula la descripción abstracta a una herramienta paramétrica (imagen 5.5).

• **Imagen 5.5**  
 • Capas de Abstracción.  
 • **fUente:**  
 • *Bernal, 2016.*



Entonces, una vez establecidas las reglas abstractas y generales, podemos mapear sus relaciones con el fin de hacer ingreso de esta información en una herramienta de modelado paramétrico buscando emergencias diferenciadas a partir de las mismas reglas base. El uso de TM gatilla una expansión del espacio de diseño, ya que cada topología generada tiene su propio espacio de diseño esperando a ser explorado.

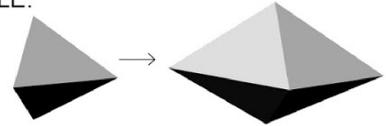
Una de las tecnologías utilizadas para la generación de TM es Model-Based System Engineering MBSE, utiliza una metodología de integración que implementa técni-

.....

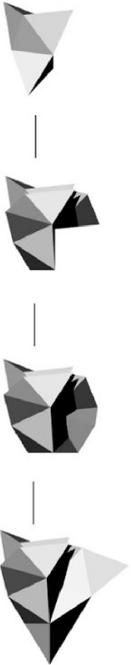
62 El programa a desarrollar a través de meta modelos corresponde a un Centro de Identidad Marciana.

63 Las relaciones son a través de Object Oriented

RULE:



DESIGN 1



DESIGN 2



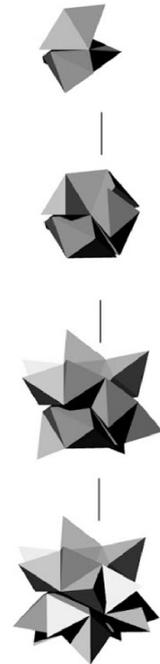
DESIGN 3



DESIGN 4



DESIGN 5



.....  
Imagen 5.6  
Variaciones a Nivel Topológico  
SG.

fuate:  
are.na web site.

cas de modelado computacional para respaldar la formación de requisitos, diseño, evaluación, verificación, y validación de un producto (Bernal, 2015), corresponde a lenguajes específicos de Object Oriented. A pesar de ser un aporte para TM cuenta con ciertas desventajas, ya que su complejidad reduce el universo de potenciales usuarios y lo que requiere es una mayor cantidad mano de obra para su manejo. Por otra parte, necesita de traductores de programa para poder interactuar con otros sistemas.

Shape Grammar, es un tipo de modelo de generación que comparte algunas características con el MM al generar diferentes posibilidades o topologías basados en un conjunto de reglas. Se trata de la forma visual de escribir recetas para la emergencia de distintas geometrías. A diferencia de un meta modelo, las reglas son netamente para generar forma, por lo que la abstracción no se aplica a cabalidad. Stiny define cuatro componentes básicas en un SG: un conjunto finito de formas, símbolos, reglas de forma y la forma inicial (Singh, 2011).

La generación de la forma consiste en un cambio de los elementos una vez estipuladas las reglas para el diseño tal como se observa en la imagen 5.6. Estas operaciones tienen relación directa con procedimientos de Operaciones Booleanas tales como agregar, restar o reemplazar y trae consigo la noción deleuziana de mutación que no se encuentra presente en la generación de PM a causa de sus limitaciones geométricas.

Topologic es un software generado para facilitar la exploración de topologías que aún se encuentra en etapas tempranas. Programada en primera instancia como complemento para Dynamo, tiene dos aplicaciones, TopologicEnergy que permite conectar los modelos con EnergyPlus para la realización de simulación de energía a través de la plataforma OpenStudio. La segunda aplicación demuestra cómo es posible generar un modelo estructural con cargas aplicadas manteniendo dimensiones mixtas, su nombre es Topological Structure (Aish, Jabi, & et al., 2018).

## 5.2. Discusión

PM ha sido una TDC que ha permitido ampliar el campo de exploración utilizando reglas provenientes tanto de intenciones de diseño, como objetivos, incluso datos climáticos. Su arraigo a la arquitectura ha permitido la construcción de formas complejas generando impacto en sus seguidores y detractores. Por un lado, los diseñadores paramétricos, tienen un cambio en la manera de ver y proyectar la arquitectura que ya no se basa en partidos generales, sino que en cuantificaciones plasmadas a través de parámetros en parámetros en una interface diagramática.

La versatilidad de las tecnologías paramétricas no solo le permite al diseñador generar instancias informadas a partir de sus parámetros, sino que posibilita la creación de diseños altamente diferenciados que logran particularidades en distintos momentos gracias a la redundancia informativa. La práctica nos ha demostrado que esta TDC permite manejar distintas escalas de proyecto, empezando desde una casa hasta un plan maestro a nivel urbano.

Por otro lado, los detractores plasman su descontento argumentando la descontextualización de la obra paramétrica que se desvincula de lo construido, del contexto. La forma vista como “objeto” alteraría la escala humana, posando así grandes y complejas formas desarraigadas de la trama de la ciudad, haciendo una mayor alusión a lo escultórico que a lo arquitectónico. Otros casos exacerbaban la autonomía del proceso abusando de operaciones al punto de cosificar el diseño, perdiendo cualquier nexo o articulación argumentada.

En etapas iniciales el manejo de softwares paramétricos puede ser engorroso por lo que harían más lento el proceso de diseño, ya que este no solo se trata del manejo de un nuevo software, sino de la aplicación de una metodología diferente, una forma distinta de pensar el planteamiento de un diseño arquitectónico, en donde prima la lógica matemática.

A pesar de los beneficios generativos que conlleva el uso de un modelo paramétrico, encontramos limitaciones en dos momentos. Primero en su DS, que está dado por

la cantidad de parámetros que se manejan y sus rangos, y por otro lado existe esta imposibilidad de manejar o mutar geometrías cambiando su topología apoyando así las exploraciones paralelas en etapas tempranas llevadas a cabo por diseñadores expertos.

A estas limitaciones responde el modelo topológico que aparece recientemente para apoyar la exploración no solo tipológica, sino que permite la generación de mutaciones geométricas a través de técnicas de abstracción de reglas generales evitando la prescripción de geometrías, para luego vincularlas a PM, por lo que es posible aseverar que los TM son potenciales PM.

El progreso en TM permite una expansión considerable del DS logrando así revisar opciones de instancias de manera paralela en etapas tempranas de diseño, por lo tanto, existe una mayor fuente de recursos que permitirá encontrar la mejor alternativa dentro del universo de posibilidades creadas, por ende, la incertidumbre en los diseños debería tender a disminuir.

El nivel de automatización alcanzado por estas tecnologías, ponen en duda la real autoría y el rol de los diseñadores. ¿Qué tanto crea la máquina abstracta? ¿La forma nace desde la tecnología o desde el diseñador? Es cierto que el rol del diseñador ha tenido un cambio importante con la llegada de las tecnologías, ya no solo diseñamos arquitectura, sino que también diseñamos las máquinas que generativas para lograrlo.

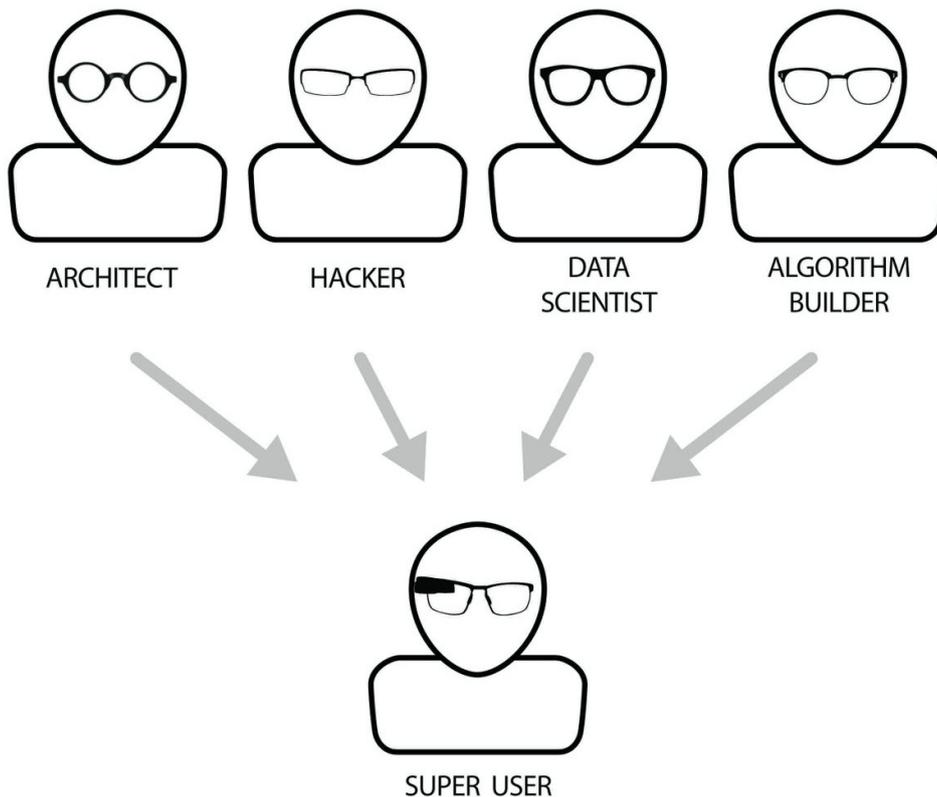
A través de la historia el arquitecto ha ido adquiriendo conocimientos transversales de distintas disciplinas en busca de inspiración, convirtiéndose en un ente transdisciplinar que maneja una multiplicidad de conocimiento para afrontar los distintos problemas de diseño. La adopción de la tecnología viene a expandir el campo de conocimiento y técnicas para ello.

Randy Deutsch denomina a este nuevo y equipado diseñador como “Super User”, de carácter proactivo capaz, de mirar debajo del capó para encontrar una mejor y más eficiente manera de llegar a la solución en un potencial problema de diseño y que

prácticamente hace uso de softwares por diversión, alimentando así constantemente su conocimiento tecnológico.

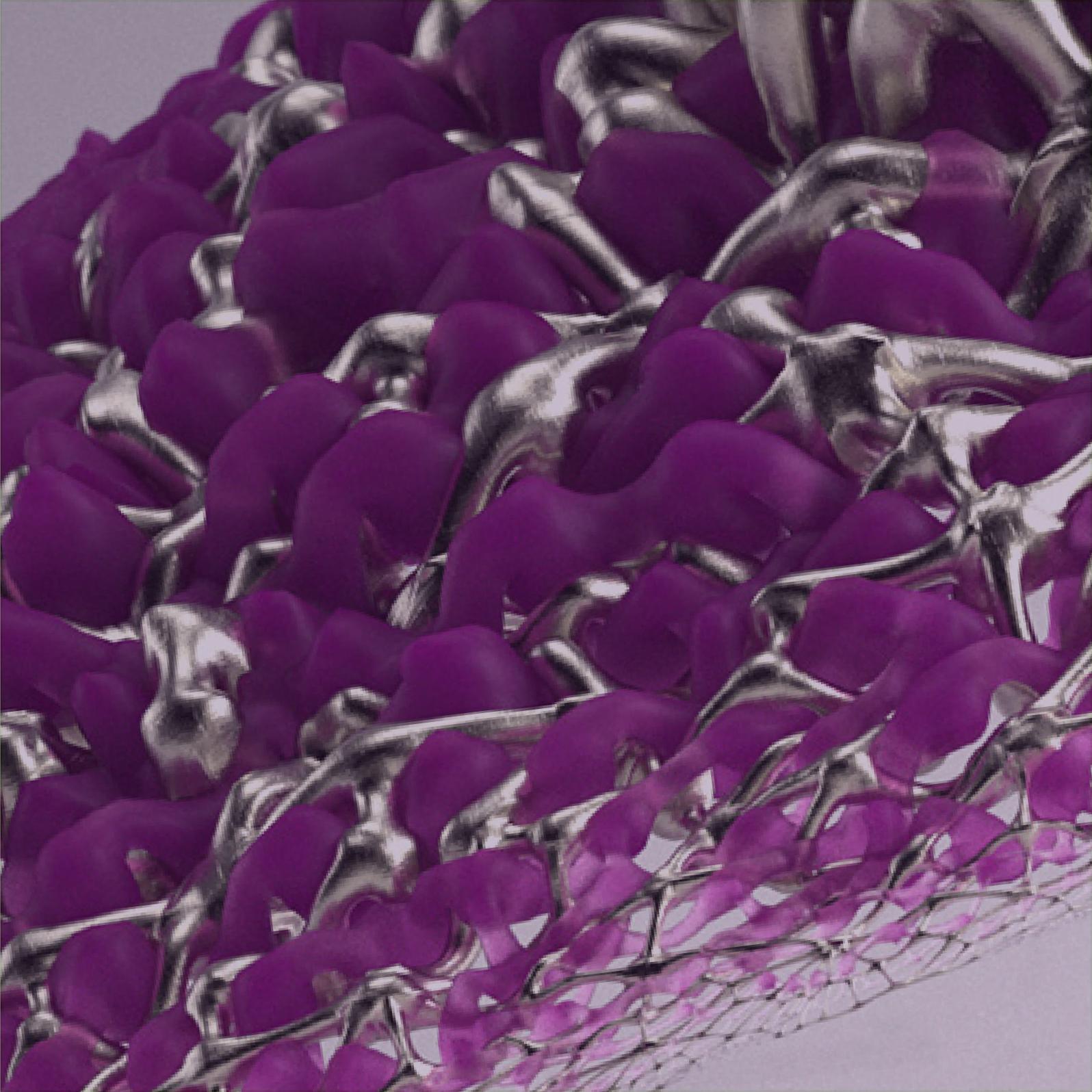
Deutsch identifica cuatro personalidades representadas en la imagen 5.7 que caracterizan a este SU. Por un lado, se encuentra el Arquitecto integral, el Hacker, quien tiene los conocimientos computacionales; Data Scientist, quien maneja la data, en cuanto a su recopilación, implementación y visualización. Por último, el Algorithm Builder, encargado de diseñar las máquinas abstractas generadoras.

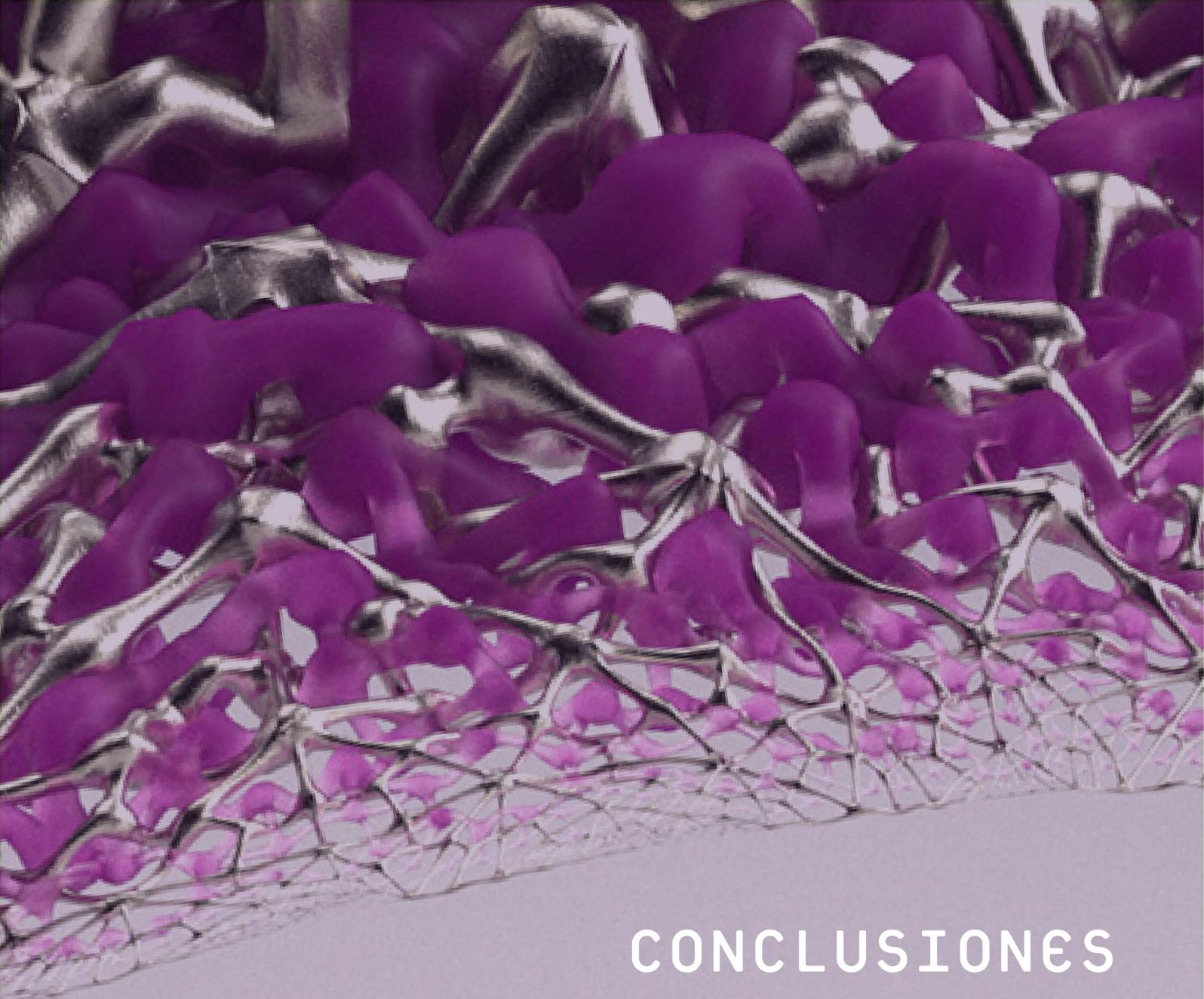
Cada una de estas características permiten conformar a un ente capaz de evolucionar digitalmente, trabajando sus propios mecanismos algorítmicos y metodologías



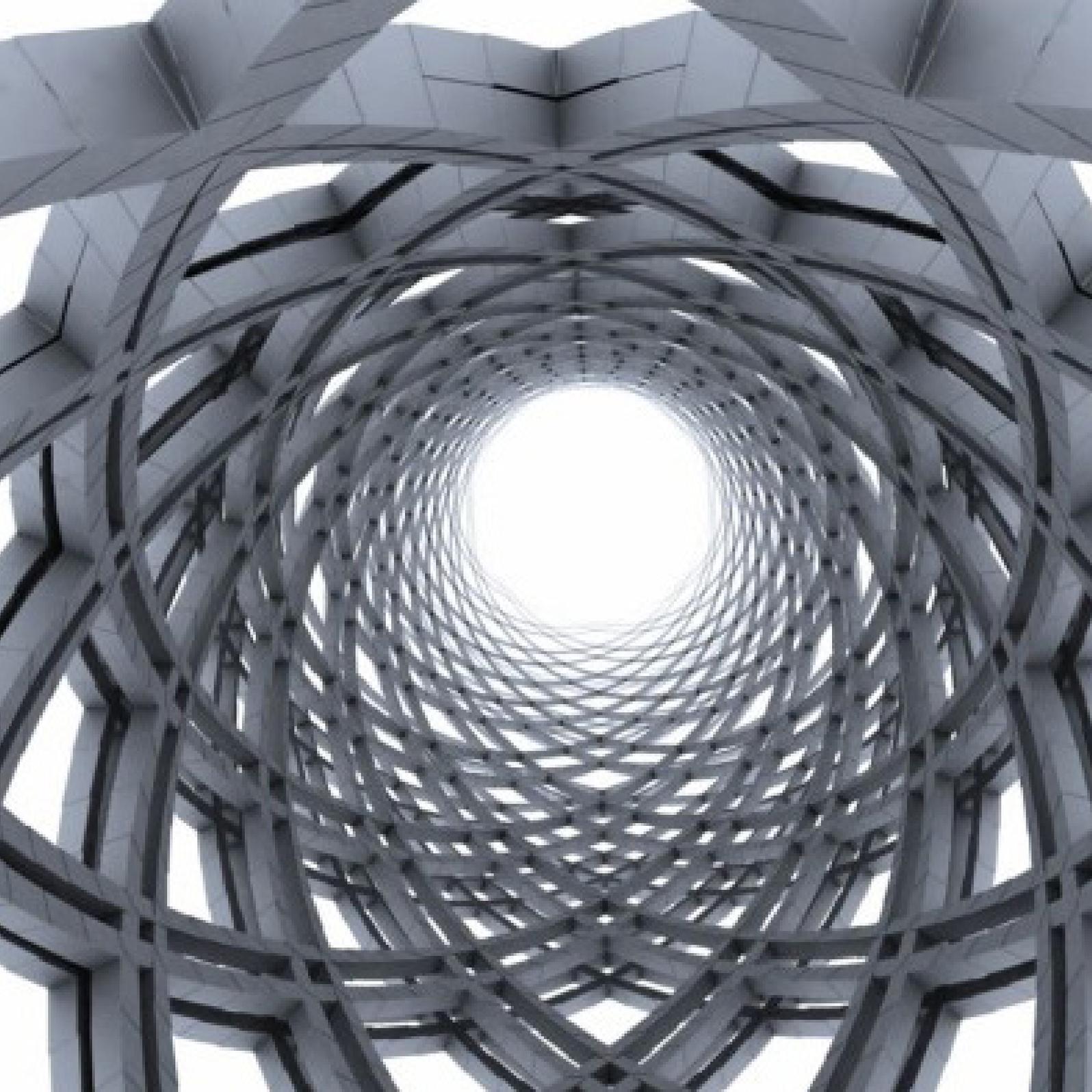
• Imagen 5.7  
• Super User.  
• Fuente:  
• Randy Deutsch.

de diseño. De esta manera es como emergen nuevos softwares como Topologic, los cuales se van ajustando a las necesidades contemporáneas del SU.





# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación se exponen desde dos puntos de vista: en primer lugar, una mirada histórica que presenta los mecanismos que permiten que la emergencia de las Teorías de Diseño Computacional en Arquitectura y luego una visión actual que se apodera de las disciplinas que lo conforman llevándolo a un estado de totalidad multidisciplinaria por sobre todo lingüística y tecnológica.

El aporte de esta tesis se encuentra en la recopilación y entendimiento del cambio de paradigma emergente desde las TDC a partir de la década del 90 como consecuencia de la adopción del lenguaje proveniente desde la filosofía que permitió su aplicación en la manipulación y consolidación de geometrías complejas haciendo uso de los diversos desarrollos tecnológicos y su evolución, poniendo en crisis nociones existentes desde la antigua arquitectura, como representación, contexto, usuario y programa, a través de la incorporación de información empírica o artificial.

La relevancia radica en la conformación de la cultura digital en arquitectura y en cómo esta se torna una fuerza radical de cambio paradigmático que en principio trabaja como bloque, de forma ideológicamente cohesionada y diferenciada al reconocer cada una de sus partes fácilmente, divergiendo en distintos planos de acción como, generación, simulación, selección y producción. Permitiendo el despliegue de prácticas innovadoras en arquitectura.

A partir de las TDC, se reconoce un antes y un después, la digitalización había llegado para quedarse. A raíz de la inquietud de la primera generación de arquitectos digitales<sup>64</sup> influenciados por el PC y el grado de habilidad alcanzado en el uso de sistemas CAD de modelado 3D, logran el despegue de la premisa “la forma sigue a la función” (Sullivan, 1934) entendida como la simplificación de geometrías a partir de su optimización, proyectando formas simétricas, basadas en la reducción y la extensión de la línea, las cuales son características propias del modernismo.

.....

64 Tales como Greg Lynn, Bernard Cache, SHoP, Stan Allen, entre otros.

Según Alexander, hasta ese entonces el proceso de diseño consistía en una seguidilla de reducción de errores, provocando una desinformación proyectual que culmina en el desarrollo de geometrías de alta simetría. Es por esto, que la frase de Sullivan se entiende como la optimización deviene a la simetría y, por ende, a la simplicidad formal. Los diseñadores digitales como consecuencia del cambio de visión y el impacto de las tecnologías CAD, logran proponer sistemas de optimización que no se basan en la desinformación, por el contrario, crean geometrías óptimas, altamente informadas (redundantes) que caracterizan y le dan fuerza a la complejidad de la arquitectura digital.

Entendiendo las TDC como un sistema complejo en el que interactúan agentes simples como los Desarrollos Tecnológicos y el Paradigma de Complejidad, de la mano de los diseñadores que hacen uso de ellos, emerge un comportamiento evolutivo que ha ido cambiando y mutando a lo largo de estos 40 años en los que han proliferado las distintas teorías. El PC como uno de sus agentes detonantes proporciona el lenguaje necesario para abordar la escena teórica de lo que formalmente estaba surgiendo. A partir de la interacción de reglas estaban emergiendo formas altamente diferenciadas y de carácter evolutivo cargadas de información, llevando al límite las estructuras y materiales teniendo que recurrir a sistemas de fabricación de prototipos para comprobar su factibilidad.

Este momento de convergencia entre el lenguaje proveniente desde la filosofía, matemática, termodinámica y biología y el uso de sistemas CAD a modo de experimentar la complejidad a través de la generación formal, es la que proporciona las bases de lo que hoy conocemos como las Teorías de Diseño Computacional, proporcionando así un cambio de Paradigma a nivel de diseño arquitectónico, en el que se adquieren nuevas metodologías enfocadas en el proceso y donde el computador pasa a ser un mediador entre el arquitecto y el proyecto.

Cada una de las TDC adopta expresiones desde la complejidad, ya sea, desde la noción maquina de Deleuziana, a través de metodologías diagramáticas como Parametric Design que comparte su tecnología PM como base para distintas TDC de generación, evaluación, selección e integración, extendiendo los conceptos de variación,

evolución, diferenciación y emergencia que son nociones profundamente derivadas desde las potencialidades que permite el computador como medio de representación y manipulación de ideas provenientes desde las teorías de complejidad.

La caracterización de esta arquitectura está netamente ligada a su metodología de trabajo, entre más información adquiera en un inicio más diferenciada será la geometría emergente, lo que permite diseñar momentos específicos y singulares por cada espacio, que puede ser o no reflejado exteriormente a través de sus curvas sinuosas y evolutivas, o sus quiebres y patrones. La información manejada por un proceso de diseño es exponencial, acrecentándose a través de sus parámetros, indicadores y resultados de simulación, lo que lleva también no solo a hacerse cargo del diseño, sino también de la visualización y despliegue de información en pos del proceso y la toma de decisiones. Las diferencias con antiguas metodologías saltan a simple vista, en diseño digital, nada es al azar.

La adopción de sistemas CAD desde disciplinas como la ingeniería, la aeronáutica y la automovilística proporcionan las herramientas necesarias para llevar a cabo la experimentación y la emergencia de la morfogénesis. En principio, los diseñadores se educaron con cierto recelo en su uso lo que repercutió en la eficiencia en cuanto a tiempo de producción, reducción de errores de representación y la reproducción de material visual, que puso en conflicto la autoría de los diseños, conflicto que se mantiene en pie hasta el día de hoy.

El nivel de automatización alcanzado por las tecnologías aumenta cada vez más junto con la pugna de la autoría, pareciera ser que los diseñadores que se anclan a viejas tradiciones son quienes tienen un mayor conflicto con esta discusión, siendo ellos quienes ponen en duda si la creación de un diseño proviene del diseñador o de la máquina. La discusión dentro del diseño digital no se genera a partir de la autoría, sino de la expansión del campo disciplinar, la automatización obliga al arquitecto a expandir nuevamente sus conocimientos, ya que no solo diseña el proyecto, sino que también la máquina que utiliza como mediadora para hacerlo.

Por ende, encontramos a un diseñador transdisciplinar, que aplica la metodología

arquitectónica en cada función que desempeñe y conocimiento que adquiera. Que ya no solo maneja variables de diseño propias de un arquitecto, sino que se ha convertido en un ente que cumple diferentes roles paralelos. Puede decirse que adquiere múltiples personalidades siendo hacker, a través de la construcción de máquinas digitales; data Scientist, al manejar grandes bancos de información y exponerla para el entendimiento global; y constructor de algoritmos, que apoya al hacker en la construcción de las poderosas máquinas de diseño. Entonces ¿Cuál es la duda sobre la autoría? Si el diseñador recopila, expone, ingresa y reutiliza la información necesaria para la construcción del diseño a partir de máquinas automáticas creadas por ellos mismos.

Al día de hoy la práctica y la academia han sido detonantes de un progreso expedito y exponencial, manteniendo latente el área de investigación buscando nuevas tecnologías que puedan aportar al progreso del diseño computacional. En principio, el desarrollo de ambas prácticas se desarrolla de forma atemporal generando un desfase que ha ido disminuyendo hasta encontrarse. Así es como en paralelo empiezan a aparecer aplicaciones de aprendizaje automático, impresión 3D, modelos topológicos y toma de decisiones dirigida en base a data que han ido progresando contemporáneamente tanto en la praxis como en la investigación.

La academia por su parte, impulsa la investigación de cada una de las ramas que han emergido y divergido de las TDC logrando una mayor proliferación y compartimiento del conocimiento dentro del círculo digital. A pesar de que cada una de las asociaciones viven en su contemporaneidad regida por su antigüedad manteniéndose distantes en cuanto a las temáticas abordadas, presentan patrones similares a destiempo. Encontrando algunas convergencias temáticas en cuanto a sustentabilidad e interacción humano – no humano, intentando volcar la balanza a lo humano, a las ciudades inteligentes y a como la vivimos. Queda pendiente un arraigo y adopción de las técnicas existentes expandiendo las fronteras de lo digital, a través de la formación de nuevas generaciones desde etapas tempranas a nivel mundial.







# REFERENCIAS

## referencias

- software, L., & hall, J. (2001). Programming Linux games (1st ed.). San Francisco: Linux Journal Press
- alsh, R., jabi, W., & et al. (2018). Topologic A toolkit for spatial and topological modelling. ecaade 2018, 310 (2), 449-458.
- saez, J., saez, R. and gómez, G.R (2003). Bentley's GenerativeComponents A design tool for exploratory architecture. Sigradi 2003, 023 (7), 65-66.
- ajlouni, R. (2017). Simulation of Sound Diffusion Patterns of Fractal-Based Surface Profiles. ACADIA 2017, 52 (37), 52-61.
- alexander, christopher W. (1964). Notes on the Synthesis of Form. Harvard Graduate School of Design.
- allen, S. (1998). Diagram Matters. ANY: Architecture New York, 16-19.
- machinist, R. (1998). The CAD/CAM Hall of Fame. Retrieved from <https://www.americanmachinist.com/cadcam-software/cadcam-hall-fame>.
- andía, R. (2001). Reconstructing the Effects of the Computers on Practice and Education During the Past 3 Decades. Journal of Architectural Education, 56 (2), 7-13.
- batty, M. and longley, P. . (1994). Fractal Cities - A Geometry of Form and Function, Academic Press, London. 66 (4), 456.
- bernal, M., haymaker, J. R., & eastman, C. (2015). On the role of computational support for designers in action. Design Studies, 41, 163-182. doi:10.1016/j.destud.2015.08.001.

- bernal, m. (2016). From Parametric to Meta Modeling in Design, *Sigradi* 2016. 20 (1), 579-583.
- bethany, n. (2018). The History of CAM—Past, Present and Future. Retrieved from <https://www.scan2cad.com/cad/history-of-cam/>.
- biedma, j. (2012). El platonismo de la “teoría de las catástrofes.” Retrieved from <https://apiedeclasico.blogspot.com/2012/01/el-platonismo-de-la-teoria-de-las.html>.
- bozdoc, m. (1999). iMB Resources and Information for professional Designers. Retrieved from *Cronología CAD*: <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD1960.htm>.
- carnicero, a., fornari, g., & pereyra, c. (2004). Arquitectura, Cine y Literatura: La seducción de la Geometría. Proceedings of the Fourth International Conference of Mathematics & Design, Special Edition of the *Journal of Mathematics & Design*, Volume 4, No.1, 27-34.
- cazau, p. (2002). AntroposModerno. Retrieved from *La Teoría del Caos*: [http://antroposmoderno.com/antro-articulo.php?id\\_articulo=152](http://antroposmoderno.com/antro-articulo.php?id_articulo=152).
- colt, j. (2014). The fabricator. Retrieved from *LaEvolución del Corte con Plasma*: <https://www.thefabricator.com/spanish/la-evoluci-n-del-corte-con-plasma>.
- cood, e. (1970). A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM* Vol. 13 N°6, 377-387.
- dalakov, g. (2018). History of Computers. Retrieved from *Sketchpad of Ivan Sutherland*: <http://history-computer.com/ModernComputer/Software/Sketchpad.html>.
- davis, d. (2013). A History of Parametric. Retrieved from <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>.

dale, n., & weems, c. (2009). Programación y Resolución de Problemas con C++. Massachusetts: Jones y Bartlett Learning, LLC.

deleuze, g., & guattari, f. (1976). Rizoma (1st ed.). Valencia, España.

deleuze, g., & guattari, f. (1988). Mil Mesetas Capitalismo y Esquizofrenia. Valencia, España: Pre Textos.

dorst, k. (2007). The Problem of Design Problems. In N.G.E. Cross, E. (Ed.), Expertise in Design - Design Thinking Research Symposium 6. Sydney: Creativity and Cognition Studios Press.

duarte, r. b. (2015). La inyección de secuencias analógicas en algoritmos: un “pecado” de UNStudio. Sigradi 2015, 672-676.

eastman, c. (1999). Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction (1st ed.). Boca de Raton, Florida: CRC Press LLC.

sacks, r., eastman, c., lee, c., & teicholz, p. (2011). Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers (2nd ed.). New Jersey: third edition.

ekeland, i. (1977). La théorie des catastrophes. La recherche, 81(8), 745-754.

hernandez, j. (2016). Técnicas Modernas en Automática: Conjuntos Difusos. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, ELO-0377, 1-17.

forest, s. (2018). Complexity Explorer. Retrieved from Introduction to Complexity: <http://complexityexplorer.org>.

goldstein, m. (2011). Mitch Goldstein: a través del proceso de mi maestría en diseño gráfico. Retrieved from Diagrama del Caos: <http://mfa.mitchgoldstein.com/chaos-diagrams/>.

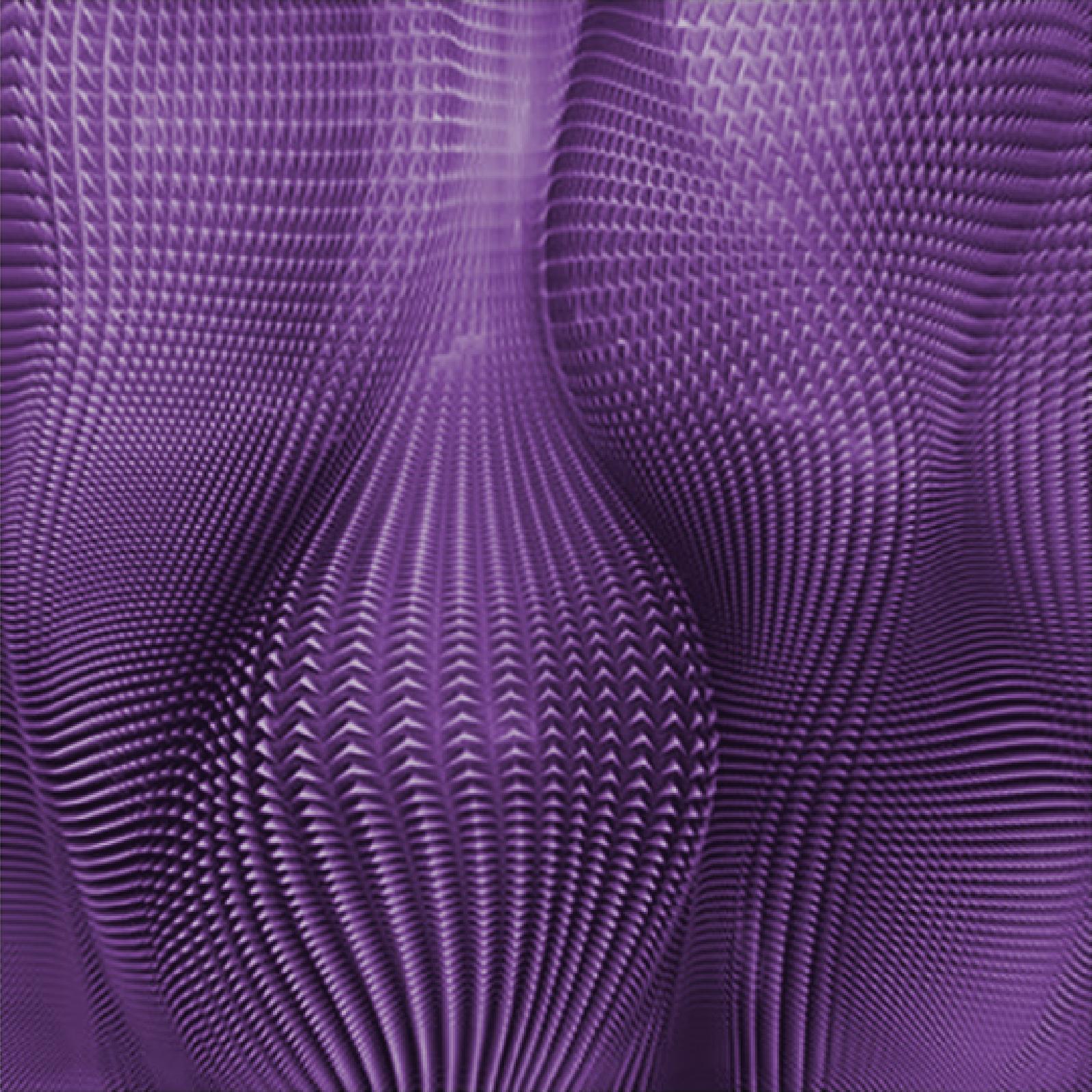
- gonzález, a., martínez, c. (2010). La mediateca de Sendai, de Toyo Ito. Cuadernos de Proyectos Arquitectónicos, (1), 37-40.
- gonzález morcillo, c. (2011). Lógica Difusa: Una introducción práctica. Técnicas de Softcomputing. Castilla, España: Universidad de Castilla (1), 1-29.
- soto gonzález, m. (1999). Edgar Morin. Complejidad y sujeto humano (Doctorado). Universidad de Valladolid.
- guimaraes, c. (2014). The Concept of the Rhizome to coexistence: a projetual application. SiGraDi 2014, 1 (8), 520-523.
- gutierrez de rueda garcía, m. (2017). Digital 90. Digital design and fabrication at the end of the 20th century. Theory, practice and education (Doctorado). Universidad de Sevilla. Departamento de Historia, Teoría y Composición Arquitectónicas.
- hermida, d. (2010). Ciencia & Tecnología. Retrieved from <http://tecnologiahecha palabra.com/ciencia/exactas/articulo.asp?i=4861>.
- herrera, p. (2007). La Comunicación en la Comunidad Visual. En S. Carmena (Presidencia), Solución de problemas relacionados al diseño de superficies complejas: Experiencia de programación en la educación del arquitecto. SiGraDi 2007, (1), 97-101.
- kalay, y. (1999). Automation in Construction: Performance-based design (8th ed., pp. 395-409). Issue.
- knight, t. (2000, Febrero 7). Workshop. Introducción a Shape Grammar. MIT/Miyagi Workshop.
- Kolarevic, B. (2003). Digital Morphogenesis. London, New York: Spon Press.

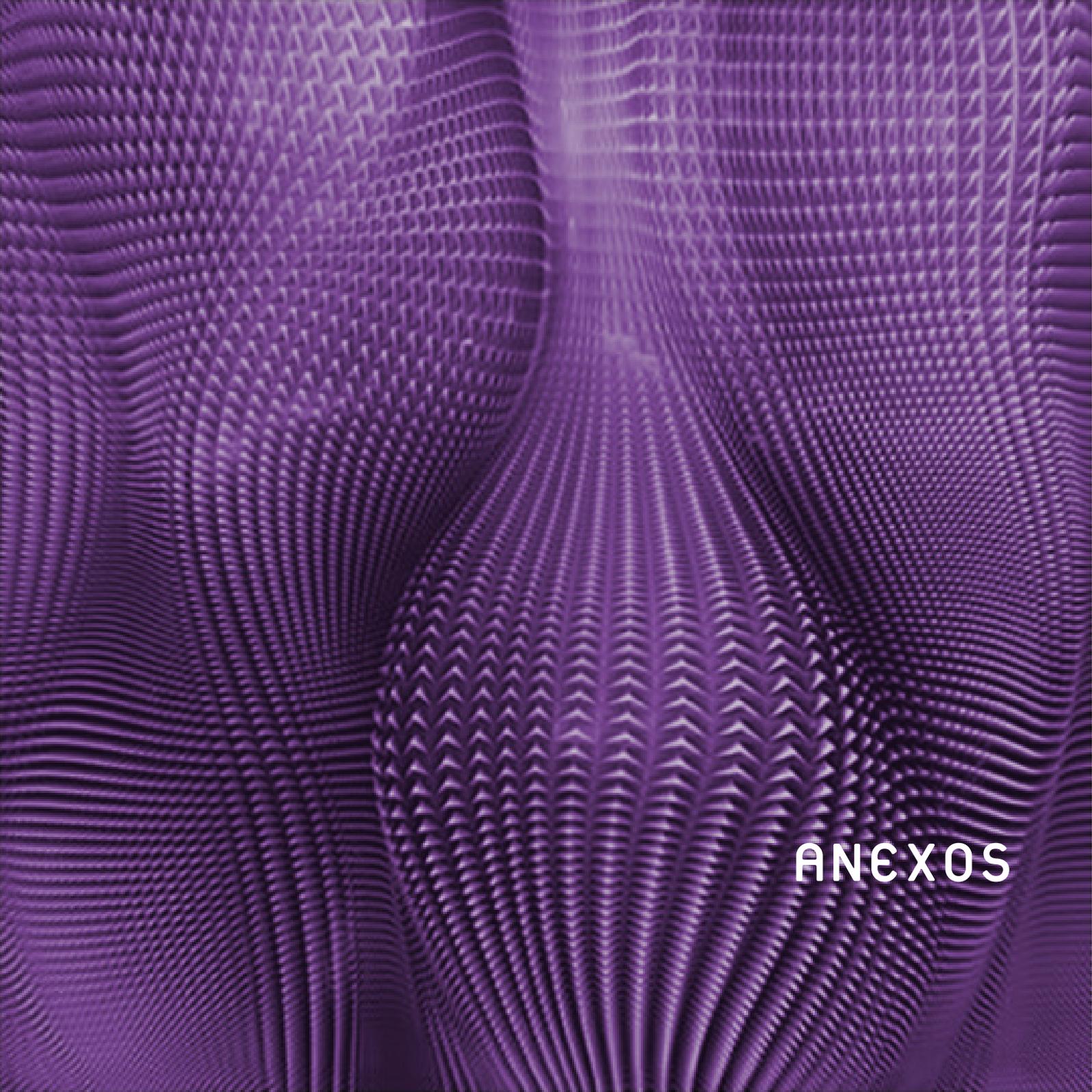
- kortenkam, u. (1999). Foundations of Dynamic Geometr (Doctorado). SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH for the degree of Doctor of Technical Science.
- greg Lynn. (1998). Folds, Bodies & Blobs : Collected Essays. Bruselas, Belgica: Lettre volée.
- Lynn, G. (2015). Architectural Design N° 102. Architectural Curvilinearity: The Folded, The Pliant and The Supple, 8-15.
- Llopis, J., Giménez, M., & Barros da Rocha, H. (2013). El boceto arquitectónico en la era digital. Arquiteturarevista, 9 (2), 143-152.
- maldebrot, B. (1975). En la geometría de la turbulencia homogénea, con énfasis en la dimensión fractal de las iso-superficies de los escalares. Journal of Fluid Mechanics, 401-416.
- mäntylä, M. (1983, Septiembre). Wiley Online Library. Retrieved from Establecer Operaciones de GWB: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8659.1983.tb00131.x>
- moraless-luna, G. (2002,). Introducción a la Lógica Difusa. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, 1-12.
- morin, E. (1977). La méthode, Tome 1: la nature de la nature. Paris: Editions du seuil.
- munne, F. (1995). Las Teorías De La Complejidad Y Sus Implicaciones En Las Ciencias Del Comportamiento. Revista Interamericana De Psicología, (29), 1-12.
- nygaard, K., & dahl, O. (1978). The development of the SIMULA languages. ACM SIGPLAN Notices, 13 (8), 439-480.

- ochoa, G. (2018). Paper. Introducción a la Computación Evolutiva y la Morfogénesis Artificial. Nottingham, UK: Automated Scheduling, Optimisation and Planning Group, School of Computer Science.
- ortega, et al, A. (2003). Grammatical evolution to design fractal curves with a given dimension. IBM J. RES. & DEV. 47 (4), 483-491.
- ortega, L. (2013). DIGITALIZATION TAKES COMMAND El impacto de las revoluciones de las tecnologías de la información y la comunicación en arquitectura (Doctorado). Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- oxman, R. (2006). Theory and design in the first. Design Studio Vol. 27, 229-265.
- pagnotta, B. (2015). Clásicos de Arquitectura: Museo Guggenheim Bilbao / Frank Gehry. Retrieved from <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/764294/clasicos-de-arquitectura-museo-guggenheim-bilbao-frank-gehry>.
- parrish, K., & tommelein, I. (2009). Making design decisions using Choosing By Advantages. Paper presented at the Proc. 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 17).
- pirela, T., Rivas, D. (2012). Perspectiva Rizomática en la Complejidad Digital de la Arquitectura. SIGraDi 2012, 52-55 .
- postmodernism: theories and analyses of architecture II. (2015, Mayo 8). Retrieved from FOLDING AND “FOLDING”: IMPLICATIONS ON ARCHITECTURE: <http://blogs.cornell.edu/arch5302sp15/2015/05/08/folding-and-folding-implications-on-architecture/>.
- prigogine, I. (1967). Introduction to thermodynamics of irreversible processes  
° New York: Interscience.

- RAMOS, R., & FERNÁNDEZ, I. (2011). Informática Gráfica (Pre grado). España: Universidad de Oviedo.
- REYNOLDS, C. (1987). Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavior Model. *Computer Graphics*, 21, (4), 25-34.
- RODRÍGUEZ, C. (1996). Caos y Fractura. Spin Cero N°2. Retrieved from Caos y Fractura: <http://www.carlosmanzano.net/articulos/ripiens.html>
- RODRÍGUEZ, R. (1995). La Teoría de Fractales: Aplicación experimental e implicaciones en la metodología de la ciencia (Pre Grado). Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- ROSSIGNAC, J. R., & REQUICHA, A. A. (1985, Septiembre). Technical Memorandum No. 31 PRODUCTION AUTOMATION PROJECT. Depth Buffering Display Techniques for Constructive Solid Geometry. New York: The University of Rochester.
- ROUSE, M., & BISCOBING, J. (2006). SearchDataManagement. Retrieved from Relational Database: <https://searchdatamanagement.techtarget.com/definition/relational-database>.
- SANS, J. A. (2016). Clasificación y Machine Learning con Técnicas Difusas. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- SINGH, V. (2011). Paper. Towards an integrated generative design. Australia: Deakin University.
- STINY, G., & GIPS, J. (1971). Congreso. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. IFIP Congress, 2 (3).
- SUTHERLAND, I. (1963). Sketchpad: un sistema de comunicación gráfica hombre-máquina (Doctorado). Instituto de Tecnología de Massachusetts.

- Thom, R. (1972). La estabilidad estructural y morfogénesis. In R. Thom, Poetics (pp. 7-19). Benjamin, EE.UU: Reading Mass.
- university vanderbilt. (n.d.). Vanderbilt University. Retrieved from Los fractales y la dimensión fractal.: <https://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/chaos/workshop/Fractals.html>.
- victoria. (2016). Scan2CAD. Retrieved from Guía de CAD para CNC: ¿Qué es el código G?: <https://www.scan2cad.com/tips/guide-to-cad-for-cnc-what-is-g-code/>.
- weisberg, D. E. (2008). Chapter 15 Patrick Hanratty and Manufacturing & Consulting Services . In D. E. Weisberg, The engineering design revolution (pp. 15-1/15-20). CADHistory.net.
- woodbury, R., & burrow, A. (2006). Paper. Whither design space? Melbourne, Australia.
- zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 338-353.





ANEXOS

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Agent	Decision	AI	Generative	Parametric	Dig. Fabrication / Robotic / Construction	Machine Learning	BIM	
ACADIA									
2018	RE-CALIBRATION: on imprecision and infidelity			AI			Robotics Within tolerance: Exploring the limits of precision from computation to fabrication. Emerging models of digital representation / fabrication	Machine Learning	
2017	DISCIPLINES DISRUPTIONS								
2016	Posthuman Frontiers: Datos, diseñadores y máquinas cognitivas	Multi-agent Systems		Artificial Intelligence	Generative/ Parametric Design Generative and Evolutionary/ Genetic Design		Digital Fabrication		BIM
2015	Computational Ecologies: Design in the Anthropocene						Emerging models of digital representation / fabrication		
2014	Design Agency	Multi Agent Systems in Design		Artificial Intelligence in Design	Generative Design		Robotics and Autonomous Design Systems Digital fabrication and construction		
2013	Synthetic Digital Ecologies				TOOLS and INTERFACES Simulation, collaboration and generative tools		NEXT GENERATION TECHNOLOGY Digital fabrication and robotic craft		
2012	Adaptive Architecture						Synthetic fabrication and robotic craft; new paradigms in rapid prototyping and assembly		
2011	Parametricism (SPC)					Analog Parametrics Comprehensive (Parametric) Design			

Imagen 8.1  
Diagrama ACADIA Tracks.

fUENTE:  
Elaboración Propia

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	VR / AR	Craft	Human	Data	IoT	Responsive	Performance	GIS	
ACADIA									
2018	RE-CALIBRATION: on imprecision and infidelity			Human / nonhuman architectural programming (computational and actual)			Responsive systems and environments (sensing, real-time computation, actuation, and feedback)		
2017	DISCIPLINES DISRUPTIONS								
2016	Posthuman Frontiers: Datos, diseñadores y máquinas cognitivas		Craft in Design Computation	Human-Computer Interaction and Design Robot-Human Collaboration		Internet of Things	Responsive Urban And Landscape Systems	Performance in Design	
2015	Computational Ecologies: Design in the Anthropocene			Human / nonhuman architectural programming (computational and actual)			Responsive systems and environments (sensing, real-time computation, actuation, and feedback)	Environmental parametrics / performance modeling	GIS mapping / data analysis in relation to landscape and urban design
2014	Design Agency	Virtual/augmented reality and interactive environments	Craft in a Digital Age	Human Building Interaction Human-Computer Symbiosis Human-computer interaction	Big Data, Gaming and Social Design			Performance in Design	
2013	Synthetic Digital Ecologies			TOOLS and INTERFACES Human/Computer Interfaces			NEXT GENERATION TECHNOLOGY Responsive environments; distributed controls, sensing, actuation and feedback	COMPLEX SYSTEMS Energy and performance modeling, structural analysis	
2012	Adaptive Architecture						Responsive environments; sensing, real-time computation, actuation and feedback	Energy, form, structures, performance modeling, simulation and prototyping	
2011	Parametricism (SPC)								

## 1.1. ACADIA

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Educación	Optimización	Cognition	Simulation	Teoría	CAAD	Computer	Material	
<b>ACADIA</b>									
2018	RE-CALIBRATION: on imprecision and infidelity				Programmed imprecision (production, representation, design, etc.)	Illusory dichotomies: critical interrogations of the digital and analogue		Computational infidelities: simultaneity, noise and glitch as generators	Materializations of computational design strategies (biomaterials, computational materials, etc.) Composite materials and smart assemblies
2017	DISCIPLINES DISRUPTIONS	Interrupciones en el frente educativo, social y cultural							interrupciones en el frente de Material y Construcción
2016	Posthuman Frontiers: Datos, diseñadores y		Simulation and Design Optimization				Computer Vision (reconocimiento de patrones)	Programmable Materials Material Agency	
2015	Computational Ecologies: Design in the Anthropocene							Geomatics (composite materials and smart assemblies) Material science (biomaterials, computational materials, etc.)	
2014	Design Agency	Computational design research and education	Multidisciplinary Design Optimization	Design Computing and Cognition	Simulation + Intuition	Theory, philosophy and methodology of computational	Ubiquitous and mobile computing	Material Agency	
					Computational design analysis	Practice-based and interdisciplinary computational design research New digital design concepts and strategies		Material Logics and Technics	
2013	Synthetic Digital Ecologies	TEACHING Computational design methodology				THEORY AND CULTURE Contemporary and historical approaches to adaptation THEORY AND CULTURE Social and cultural implications of computation and cybernetics		NEXT GENERATION TECHNOLOGY Synthetic construction: composite materials, smart assemblies, material analysis	
		TEACHING Curriculum models							
2012	Adaptive Architecture					History and theory of digital architecture and synthetic production		Synthetic tectonics; composite materials, smart assemblies, emerging trends	
2011	Parametricism (SPC)				Simulations: Quantitative and Qualitative	Investigations in Digital Curricula	Reconfiguring Collaboration by Computational Means		

Imagen 8.2  
Diagrama ACADIA Tracks.

fUENTE:  
Elaboración Propia



AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS											
Key Words	Form	Smart	Sustentable	Environment	Biological	Design	Representación / Virtual / visualización	Tecnología	System	Digital & Interactive Architecture	Analysis		
ACADIA													
2018	RE-CALIBRATION: on imprecision and infidelity												
2017	DISCIPLINES DISRUPTIONS					Interrupciones en los métodos de diseño y en el frente del procesamiento de la información							
2016	Posthuman Frontiers: Datos, diseñadores y máquinas	Form-finding Composite Forming Processes			Intelligent Environments	Biomimetics and Biological Design	Gaming in Design Interdisciplinary/ Collaborative Design						
2015	Computational Ecologies: Design in the Anthropocene			Climate modeling		Computational / mimetic design (bio-formalism, geo-formalism, etc.)							
2014	Design Agency	Shape studies			Intelligent Environments	Biomimicry and Biological Models in Design	User participation in design Collective Intelligence in Design Open Source in Design Collaborative and collective design	Virtual architecture and city modeling	Situated Technologies	Interactive Systems	Interactive Architecture		
2013	Synthetic Digital Ecologies	SOCIAL FORMS Social media and gaming SOCIAL FORMS Participatory design		COMPLEX SYSTEMS Environmental adaptation, passive systems			COMPLEX SYSTEMS Complex systems in design; emergent and self-organizing systems		NEXT GENERATION TECHNOLOGY Hybrid structural systems				
2012	Adaptive Architecture			Dynamic information modeling & design (body / building / landscape / urban micro-climate scales)	Virtual environments; gaming; social networking; interaction and collaboration		Computational models of complex systems in design; emergent and self-organizing systems						
2011	Parametricism (SPC)	Forms that Matter					In-Formation Based Design		Building Envelopes & Surface Geometry				

AÑO	TOPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Agent	Decision	AI	Generative	Parametric	Dig. Fabrication / Robotic / Construction	Machine Learning	BIM	
<b>eCAADe</b>									
2018	Computing for a better tomorrow				Generative design	Parametric modelling	Digital fabrication and robotics Digital application in construction		Building Information Modelling
2017	Shock!	Design tools and agent-based systems			Parametric and generative design	Parametric and generative design	Digital fabrication and robotics		Building Information Modeling
							Digital application in construction		
2016	Complejidad y Simplicidad				Generative Design	Parametric Modelling	Fabrication & Material Studies		Building Information Modelling
2015	Real Time: Extending the Reach of Computation				Generative Design		Fabrication Design		BIM
2014	Fusion: Data Integration at its best				Generative Design-Parametric Modelling		Fabrication		Utilizing BIM BIM- Education BIM- Collaborative Design BIM - Utilizing Data Landscape Institute Presentation: BIM for Landscape Design, Specifications and Collaboration
2013	Computation and Performance		Design Decision-Making				Digital Fabrication		Building Information Modelling
2012	Digital Physicality   Physical Digitality				Generative design		Digital applications in construction Precedence and prototypes		
2011	Respecting Fragile Places				Generative and Parametric Design		Precedence and Prototypes		Information/Knowledge Architecture & BIM

Imagen 8.3  
Diagrama eCAADe Tracks.

fUENTE:  
Elaboración Propia



AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	VR / AR	Craft	Human	Data	IoT	Responsive	Performance	GIS	
<b>eCAADe</b>									
2018	Computing for a better tomorrow	VR, AR and visualisation		Human-computer interaction in design		Internet of things for built environments	Smart and responsive design		City modelling and GIS
2017	Shock!	Virtual and augmented reality				IoT for built environments	Responsive environments and smart spaces		City modelling and GIS
2016	Complejidad y Simplicidad			Human-Computer Interaction			Smart & Responsive Design		
2015	Real Time: Extending the Reach of	VR & Visualisation Virtual Reality					Smart and Responsive Design		
2014	Fusion: Data integration at its best	Virtual Reality					SMART and RESPONSIVE DESIGN		
2013	Computation and Performance						Spatial Performance and Space Syntax  3D Model Performance		
2012	Digital Physicality   Physical Digitality	Virtual reality		Human-Computer Interaction					
2011	Respecting Fragile Places								

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Educación	Optimización	Cognition	Simulation	Teoría	CAAD	Computer	Material	
eCAADe									
2018	Computing for a better tomorrow	CAAD education	Design and structure optimisation		Simulation, prediction and evaluation	Design concepts and strategies			Material studies
2017	Shock!				Simulation, prediction and evaluation		CAAD curriculum CAAD and creativity		Material studies
2016	Complejidad y Simplicidad	CAAD Education			Simulation, Prediction & Evaluation	Design Concepts & Strategies			
2015	Real Time: Extending the Reach of Computation	CAAD Education							Material Studies
2014	Fusion: Data integration at its best	CAAD EDUCATION							Material
2013	Computation and Performance		Generation, Exploration and Optimisation		Simulation, Prediction and Evaluation		CAAD Curriculum		Material Studies
2012	Digital Physicality   Physical Digitality				Simulation, prediction, and evaluation	New design concepts and strategies	CAAD curriculum.		
2011	Respecting Fragile Places	Research, Education and Practice			Simulation, Visualization, Prediction and Evaluation	New Design Concepts and Strategies	CAAD Curriculum		

Imagen 8.4  
Diagrama eCAADe Tracks.

fUENTE:  
Elaboración Propia



ANO	TOPICOS	LLAMADOS					Design	Representación / Virtual / visualización	Tecnología	System	Digital & Interactive Architecture	Analysis
Key Words	Form	Smart	Sustainable	Environment	Biological							
eCAADe												
2018	Computing for a better tomorrow	Shape, form and geometry	Smart cities	Digital design for sustainable buildings	AI for design and built environment		Design tools development Collaborative and participative design			Information technologies in cultural heritage		
2017	Shook!	Shape and form studies	Smart cities	Digital design for sustainable buildings	AI for design and built environment	Design strategies and biomimicry	Web based design HCI in design Collaborative and participative design	Virtual and physical prototyping Digital representation and visualisation		Digital heritage		
2016	Complejidad y Simplicidad	Shape, Form & Geometry	Smart Cities				Design Tools Collaboration & Participation			Digital Heritage	Spatial Analysis	
2016	Real Time: Extending the Reach of Computation	Shape, Form and Geometry	Towards Smarter Cities				Design Tools Collaboration and Participation			Digital Heritage	Spatial Analysis	
2014	Fusion: Data integration at its best.	SHAPE, FORM and GEOMETRY	Towards Smarter Cities				Design Tool Collaboration and Participation	Visualisation		Digital Heritage	Spatial Analysis	
2013	Computation and Performance	Shape Grammars  Models of Computation: Form Studies				Biomimetics and Bio-Inspiration	Languages of Design Collaborative and Participatory Design Performative Design Algorithmic Design Generation Models of Computation: Design Tools Design Media and HCI				Performative and Interactive Architecture	
2013	Digital Physicality I Physical Digitality	Shape studies					User participation in design Design tool development Web-based design Collaborative design Digital aids to design creativity	Virtual architecture				
2011	Respecting Fragile Places	Shape Studies					Collaborative Design User Participation in Design Design Tool Development Digital Aids to Design Creativity	Virtual Architecture		Bentley Panel: Conference Summary / Roundtable		

P	TÓPICOS	LLAMADOS							
	Key Words	Agent	Decision	AI	Generative	Parametric	Dig. Fabrication / Robotic / Construction	Machine Learning	BIM
CAADRIA									
2018	Learning, Prototyping and Adapting				Parametric and generative design generative algorithmic and evolutionary design		Digital fabrication and construction Additive manufacturing robotic fabrication and automation	big data and machine and deep learning	building information modelling and interoperability
2017	Protocols, Flows and Glitches								
2016	Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing								
2015	Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture								
2014	Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture				Generative, parametric and evolutionary design	Generative, parametric and evolutionary design	Integration of advanced materialization and fabrication processes Digital fabrication and construction		
2013	Open Systems								
2012	Beyond Codes and Pixels								
2011	Circuit Bending, Breaking and Mending								

Imagen 8.5  
Diagrama CAADRIA Tracks.  
fuente:  
*Elaboración Propia*  
.....

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	VR / AR	Craft	Human	Data	IoT	Responsive	Performance	GIS	
CAADRIA									
2018	Learning, Prototyping and Adapting	virtual reality and interactive environments Augmenter and mixed reality in		human - computer interaction and wearables	big data, clustering and information processing	smart built environment and internet things			
2017	Protocols, Flows and Glitches								
2016	Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing								
2015	Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture								
2014	Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture	Virtual/augmented reality and interactive environments		Human-computer interaction	High volume real-time data with ubiquitous social network				
2013	Open Systems								
2012	Beyond Codes and Pixels								
2011	Circuit Bending, Breaking and Mending								

ANO	TÓPICOS	LLAMADOS							
	Key Words	Educación	Optimización	Cognition	Simulation	Teoria	CAAD	Computer	Material
CAADRIA									
2018	Learning, Prototyping and Adapting	Postgraduate student consortium  computational design processes, theory and education	computational fluid dynamics and optimization  Additive manufacturing and optimization processes	Design, cognition and interaction					adaptive materials and kinetic architecture
2017	Protocols, Flows and Glitches								
2016	Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing								
2015	Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture								
2014	Rethinking Comprehensive Design, Speculative Counterculture	Computational design research and education	Complex calculations to explore, discover, optimize, and achieve design intentions	Design cognition		New digital design concepts and strategies		Ubiquitous and mobile computing	Integration of advanced materialization and fabrication processes
						Practice-based and interdisciplinary computational design research			
						Theory, philosophy and methodology of computational design research			
2013	Open Systems								
2012	Beyond Codes and Pixels								
2011	Circuit Bending, Breaking and Mending								

Imagen 8.6  
Diagrama CAADRIA Tracks.

fuentes:  
Elaboración Propia



AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS											
	Key Words	Form	Smart	Sustainable	Environment	Biological	Design	Representación / Virtual / visualización	Tecnología	System	Digital & Interactive Architecture	Analysis	
<b>CAADRIA</b>													
2018	Learning, Prototyping and Adapting	shape studies and design synthesis  Architecture and urban form and analysis		city modeling and thermal comfort	Mixed reality and interactive environments  environmental analysis - adaptive facades		Design Practice  Design and construction of Phoenix Center based on digital technology weiping shao	visual and spatial studies					
2017	Protocols, Flows and Glitches												
2016	Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing												
2015	Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture												
2014	Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture	Shape studies					Complex calculations to explore, discover, optimize, and achieve design intentions	Virtual architecture and city modeling			Digital aids to design creativity	Computational design analysis	
							Cloud computing to collaborate design processes via open source network				Virtual/augmented reality and interactive environments		
							Collaborative and collective design						
							User participation in design						
2013	Open Systems												
2012	Beyond Codes and Pixels												
2011	Circuit Bending, Breaking and Mending												

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Agent	Decision	AI	Generative	Parametric	Dig. Fabrication / Robotic / Construction	Machine Learning	BIM	
<b>ASCAAD</b>									
2018	Adaptive Frontiers of Digital Architecture				Generative & parametric design & modelling		Design fabrication		Building information modeling (BIM)
2016	Parametricism V. Materialism				Generative & parametric design & Modelling		Rapid prototyping Design Fabrication Digital tools in design & construction		Building information modeling (BIM)
2015									
2014	Digital Crafting				Generative and parametric design		Mass customization		Building Information Modeling (BIM)
2013									
2012	CAAD   INNOVATION   PRACTICE				Generative and parametric design		Digital tools in design and construction		Building Information Modeling
2011									

Imagen 8.7  
Diagrama ASCAAD Tracks.

fUENTE:  
Elaboración Propia

.....

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	VR / AR	Craft	Human	Data	IoT	Responsive	Performance	GIS	
ASCAAD									
2018	Adaptive Frontiers of Digital Architecture	Augmented & virtual reality					Responsive & sensory environments	Urban performance visualisation Building performance visualisation	
2016	Parametricism V. Materialism	Augmented & virtual reality		Human-computer interaction			Responsive & sensory environments	Urban/ city/ regional planning & urban performance visualisation Building performance visualisation	
2015									
2014	Digital Crafting							Building performance virtualization	
2013									
2012	CAAD   INNOVATION   PRACTICE								
2011									

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Educación	Optimización	Cognition	Simulation	Teoría	CAAD	Computer	Material	
ASCAAD									
2018	Adaptive Frontiers of Digital Architecture	CAAD education & curriculum				Theories of design & conceptual models			
2016	Parametricism V. Materialism	CAAD education & curriculum Education in digital contexts		Design intelligence & cognition	Simulation & modelling	Theories of design & conceptual models	Fantastic Architecture & CAAD	Ubiquitous computing Computer-supported design collaboration	
2015									
2014	Digital Crafting	Research, Education and Practice Computational research in design education		Design intelligence and cognition	Simulation and visualization	Interdisciplinary computational design research Computational research in design practice	CAAD Curriculum	Ubiquitous computing Computer-supported design collaboration	
2013									
2012	CAAD   INNOVATION   PRACTICE	Research, Education and Practice Computational research in design education		Design cognition	Simulation and visualization	Interdisciplinary computational design research Computational research in design practice	CAAD Curriculum	Ubiquitous computing Computer-supported design collaboration	
2011									

Imagen 8.8  
Diagrama ASCAAD Tracks.

fUENTE:  
Elaboración Propia



AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS										
Key Words	Form	Smart	Sustainable	Environment	Biological	Design	Representación / Virtual / visualización	Tecnología	System	Digital & Interactive Architecture	Analysis	
ASCAAD												
2018	Adaptive Frontiers of Digital Architecture	Shape grammars	Smart & sustainable cities	Eco-architecture Sustainable construction Sustainable architecture	Virtual & interactive environments		Digital tools in design & construction Green building design		Digital heritage		Digital architectural humanities	
2016	Parametricism V. Materialism	Shape grammars	Smart cities				Design of/for MOOCs Creative design concepts, taxonomies and strategies		Digital heritage User interface & user experience (UI / UX)		Digital architectural humanities	
2015												
2014	Digital Crafting				Sensory Environments Virtual and interactive environments		Creative Design Concepts and Strategies Digital tools in design and construction					
2013												
2012	CAAD   INNOVATION   PRACTICE				Virtual and interactive environments		Creative Design Concepts and Strategies Design intelligence					
2011												

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
Key Words	Agent	Decision	AI	Generative	Parametric	Dig. Fabrication / Robotic / Construction	Machine Learning	BIM	
CAAD FUTURES									
2017	Future Trajectories of Computation in Design		Decision Support Systems and Human Computer Interactions		Generative Design Systems	Parametric Tools and Models for Design	Fabrication and Materiality		Building Information Modelling
2015	The Next City					Algorithmic and parametric design	Fabrication technologies		Building information modeling
2013	Global Design & Local Materialization						Digital Fabrication		
2012									
2011	Designing Together								BIM

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
	Key Words	VR / AR	Craft	Human	Data	IoT	Responsive	Performance	GIS
	CAAD FUTURES								
2017	Future Trajectories of Computation in Design	Augmented and Virtual Reality Environment Studies						Building Performance Studies	
2015	The Next City	Augmented and virtual reality		Human-computer interaction	Data analytics			Performance-based design	
2013	Global Design & Local Materialization			Human-computer interaction					
2012									
2011	Designing Together			human computer interaction, users					

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS							
	Key Words	Educación	Optimización	Cognition	Simulation	Teoría	CAAD	Computer	Material
CAAD FUTURES									
2017	Future Trajectories of Computation in Design	Pedagogical Approaches to CAAD							
2015	The Next City			Design cognition	Modeling & simulation	Theories of design in the digital age			
2013	Global Design & Local Materialization				Modeling & Simulation				
2012									
2011	Designing Together								

AÑO	TÓPICOS	LLAMADOS											
Key Words	Form	Smart	Sustentable	Environment	Biological	Design	Representación / Virtual / visualización	Tecnología	System	Digital & Interactive Architecture	Analysis		
CAAD FUTURES													
2017	Future Trajectories of Computation in Design	Shape Studies Design Geometry and Form Studies					Rethinking Design in Digital Context						
2015	The Next City	Shape & form studies	Smart cities				Collaborative design						
			Smart buildings				Digital aids to design creativity						
2013	Global Design & Local Materialization	Shape & form studies					Digital aids to design creativity Collaborative design						
2012							Local materialization for digital design.						
2011	Designing Together			sustainable design			team design	modeling in context					