

LA GENÉTICA COMO INSPIRACIÓN EN EL PROCESO DE DISEÑO DE LA ARQUITECTURA. EISENMAN Y ZAHA HADID

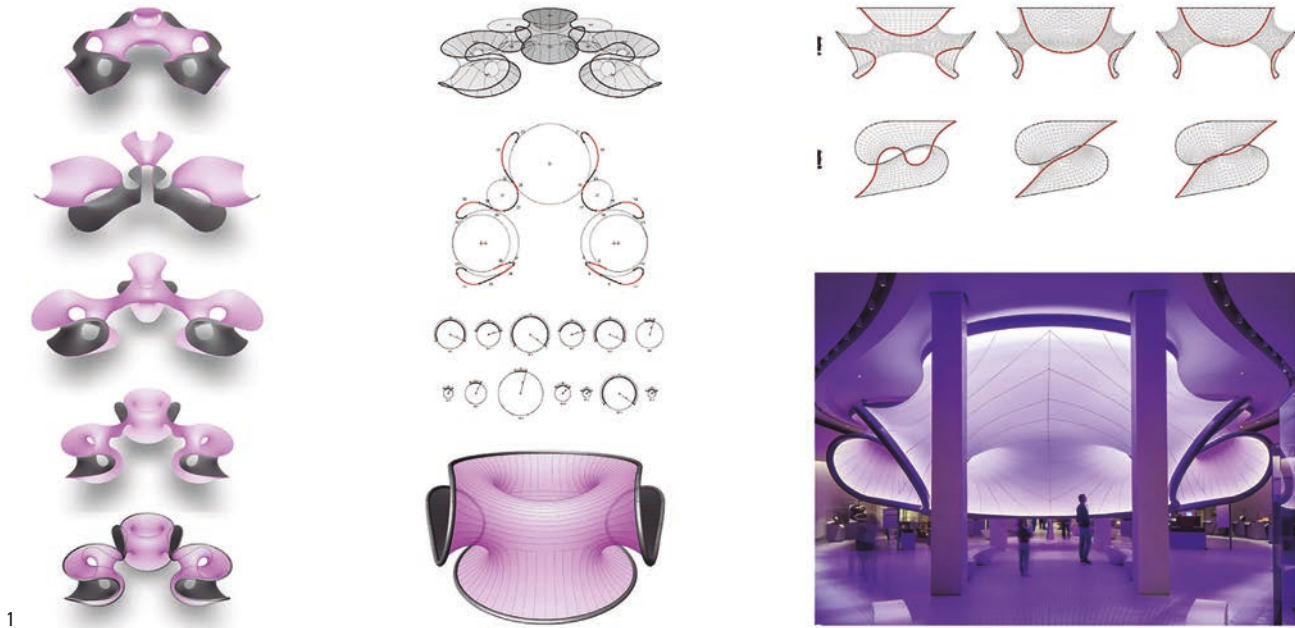
GENETICS AS INSPIRATION IN THE DESIGN PROCESS OF ARCHITECTURE. EISENMAN AND ZAHA HADID

244



Carmen Escoda Pastor; orcid 0000-0003-4438-1813 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Natalia Botero Márquez; orcid 0000-0003-1697-6879 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Federico Arévalo Rodríguez; orcid 0000-0002-4703-6129 UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Antonio Amado Lorenzo; orcid 0000-0002-4208-4463 UNIVERSIDADE DA CORUÑA

doi: 10.4995/ega.2024.17398



La analogía genética y biológica como inspiración en procesos de diseño y en concreto su uso como base conceptual en la generación del proyecto de arquitectura, abarca procesos que se extienden desde la metáfora hasta técnicas de diseño y procesos gráficos que utilizan algoritmos evolutivos y diseño paramétrico. El uso de dichos algoritmos evoluciona, en el modelado arquitectónico y en la bioinformática, paralelamente a los avances en inteligencia y vida artificial. Para el conocimiento de los avances actuales de los desarrollos basados en la genética, se presenta su evolución cronológica en conexión con su analogía en la arquitectura. Como modelos arquitectónicos basados

en dichos procesos, se analizan las propuestas *Biocentrum* de Peter Eisenman y *The Winton Gallery* de Zaha Hadid, que se fundamentan en las matemáticas y en los algoritmos, en las que el proceso de ideación se convierte en objetivo del proyecto arquitectónico.

PALABRAS CLAVE: ANALOGÍA GENÉTICA, ADN, ALGORITMOS, REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Genetic and biological analogy as a means of inspiration in the design process and, particularly, its use as conceptual grounds for the birth of the architectural project encompasses processes extending from metaphor to design techniques and graphic processes

*using evolutive algorithms and parametric design. Regarding the architectural modelling, the use of those algorithms develops in parallel to advances in artificial intelligence and life. To know of current advances of developments based on genetics, a chronological evolution is presented linked to its analogy in architecture. As architectural models based on those processes, the proposals of *Biocentrum* by Peter Eisenman and *The Winton Gallery* by Zaha Hadid are analysed. These are rooted on maths and algorithms and their ideation process becomes the goal of the architectural project.*

KEYWORDS: GENETIC ANALOGY, DNA, ALGORITHMS, GRAPHIC REPRESENTATION



1. Flight of Fantasy, The Science Museum's Winton Gallery. Diseño basado en ecuaciones de flujos de aire. Z. Hadid (2016)
2. Helix City. K. Kurokawa (1961)

1. Flight of Fantasy. The Science Museum's Winton Gallery. Design based on equations of air fluxes. Z. Hadid (2016)
2. Helix City. K. Kurokawa (1961)

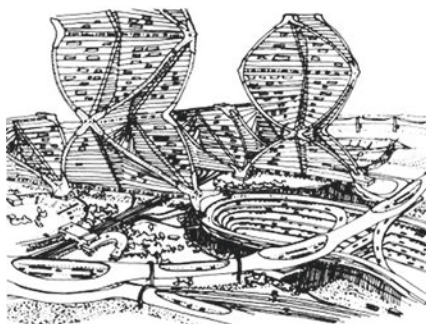
De la cadena genética a la biología computacional

Las instrucciones para construir un organismo vivo están escritas en un código de cuatro letras, agrupadas en palabras de tres. (Cherfas, 1982, p. 12)

A lo largo de la historia, los avances científicos han representado una importante fuente de inspiración para diseñadores, artistas y arquitectos. En sus inicios, la biología pudo ser la base de la analogía orgánica, así como la aparición de clasificaciones taxonómicas, linajes y herencias pudo motivar a artistas como Durero a generar categorías basadas en las geometrías subyacentes. Por lo que respecta a la genética, su papel como inspiración en el arte surgió como consecuencia de los descubrimientos de la estructura de doble hélice realizados por James Watson y Francis Crick en los años cincuenta.

Poco después, en 1961, el proyecto *Helix City* de Kisho Kurokawa fue un claro ejemplo de analogía genética presente en la arquitectura (Fig. 2). Según indicaba el autor: “La ciudad helicoidal es una estructura en espiral que se propuso como tercer sistema espacial o alternativo. Al igual que en el caso de los cromosomas (ADN) en el sistema de la vida, la estructura de la hélice actúa como un marco espacial para la transmisión de datos” (Kurokawa, 1977, p. 56).

En la década de los sesenta se dieron los primeros descubrimientos sobre la biología computacional. Iván Sutherland y Cyrus Levinthal desarrollaron las primeras representaciones gráficas en 3D sobre la estructura molecular de las proteínas. Este último avanzó en la genética molecular, enfocando su trabajo hacia la aplicación compu-



2

tacional, en procesos de estructuras biológicas como el plegamiento de proteínas y la conectividad de células en el desarrollo del sistema nervioso.

Como pionero en unificar ambas áreas, las nuevas posibilidades de la bioinformática implicaban análisis de datos, búsqueda de alineamientos, estadísticas, probabilidades, inteligencia artificial, teoría de grafos (Ore, 1995), teoría de información y algoritmos de búsqueda. Estos dos últimos avances forman el eje central de la analogía genética en el actual desarrollo del diseño asistido por medios digitales.

Algoritmos genéticos y representación evolutiva

La computación evolutiva está formada por algoritmos genéticos, estrategias y programación evolutivas. Ingo Rechenberg (1973) introdujo las estrategias evolutivas en la década de los años sesenta. Fogel, Owens y Walsh crearon, en 1966, la programación evolutiva y, en 1975, John Holland presentó el algoritmo genético basado en estudios sobre la adaptación de seres vivos.

Los algoritmos evolutivos están basados en las analogías neodarwinistas que integran la teoría de Darwin sobre la evolución de las especies a través de la selección na-

From Genetic Chain to Computational Biology

Instructions to build a living organism are written in a code of four letters, grouped in words of three (Cherfas, 1982, p. 12)

Throughout history, scientific advances have become an important source of inspiration for designers, artists and architects. In the beginning, biology might have been the base for organic analogy, as well as the appearance of taxonomic classifications, lineage and heredity might have motivated artists such as Durero to generate categories based in their underlying geometries. As for genetics, its role as a means of inspiration for art sprang as a consequence of James Watson and Francis Crick's discovery of the double helix structure in the 50's.

Soon after, in 1961, the Helix City project by Kisho Kurokawa became a clear example of genetic analogy present in architecture (Fig. 2). In the author's words: “The helicoidal city is a spiralling structure proposed as a third or alternative spatial system. Just as with chromosomes (DNA) in a living system, the helix structure acts as a spatial frame for the transmission of data.” (Kurokawa, 1977, p. 56)

The first discoveries in computational biology took place in the sixties. Ivan Sutherland and Cyrus Levinthal developed the first 3D graphic representations of the molecular structure of proteins. The latter developed molecular genetics, focusing his research in computational applications in the processes of biological structures such as the folding of proteins and the connectivity among cells for the development of the nervous system.

As a pioneer unifying both areas, the new possibilities implied the analysis of data, the search for alignments, statistics, probabilities, artificial intelligence, graphos theory (Ore, 1995), information theory and search algorithms. These last two advances have become the central axis of genetic analogy in the current development of computer assisted design.

Genetic Algorithms and Evolutive Representation

Evolutive computation is integrated by genetic algorithms, and evolutive strategies



and programming. Ingo Rechenberg (1973) introduced evolutive strategies in the sixties. Fogel, Owens and Walsh created, in 1966, evolutive programming and, in 1975, John Holland presented the genetic algorithms based in researches carried out on the adaptation of living beings.

Evolutive algorithms are based in neo-Darwinian analogies on the basis of Darwin's theory about the evolution of the species through natural selection, Gregor Mendel's about heredity, random genetic mutation as a means of variation, and the genetics of simulated populations. Those algorithms contemplate the example of a population of possible solutions to a specific problem. Individuals are evaluated through *fitness* (understood as the capacity of adaptation), so that those whose adaptation is better will become the most capable. Over the course of the process developed through generational cycles, individuals will be going through stages of selection, breeding, mutation and replacement.

An evolutive algorithm needs a population of individuals: each one of them is defined by a genotype (a group of genes). Therefore, an individual would become a genotype, and a population an ensemble of individuals. After some repetition of routines, the individuals with the highest *fitness* are selected. Through this function, the algorithm calculates which individuals comply with the optimal condition (the closest to the solution). Individuals with a better adaptation will be selected as parents of the next generation and so forth, till the problem is solved. Individuals with the lower *fitness* are eliminated.

In the stages of recombination and breeding, new individuals are generated combining the parents' information (two or more individuals). When the breeding takes place, the information of those genotypes is taken and a new one is formed. Through that process, it is possible to eliminate or modify undesirable characteristics by adding information (inserting genes) from other living beings. As a consequence, in the field of evolutive computation an analogy can be established consisting on the use of evolutive "genes" in the processes of search and optimization. A gene is evolutive when its design presents a high degree of adaptation (Gero & Kazakov, 1996).

tural, la de Gregor Mendel sobre la herencia, la mutación genética aleatoria como fuente de variación y la genética de poblaciones simuladas. Dichos algoritmos plantean el ejemplo de una población de posibles soluciones a un problema específico.

A través del *fitness* (entendido como capacidad de adaptación) se evalúan los individuos, de manera que los que se hayan adaptado mejor serán los más capacitados. Durante todo el proceso desarrollado a través de ciclos generacionales, los individuos se verán afectados por estadios de selección, cruzamiento, mutación y reemplazo.

Un algoritmo evolutive necesita de una población de individuos: cada uno está definido por un genotipo (conjunto de genes). Por lo tanto, un individuo sería un genotipo, y una población, un conjunto de individuos. Después de alguna repetición de rutinas, los individuos con mejor *fitness* son elegidos. A través de esta función, el algoritmo calcula qué individuos cumplen con la condición óptima (la más cercana a la solución). Los individuos con una mayor adaptación serán seleccionados como padres de la siguiente generación y así sucesivamente, hasta resolver el problema. Los individuos con el *fitness* más bajo son eliminados.

En los estadios de la recombinación y cruzamiento, se generan nuevos individuos combinando entre sí la información de los padres (dos o más individuos), cuando se realiza el cruzamiento, se toma la información de esos genotipos y se forma uno nuevo. A partir de este proceso, es posible eliminar características no deseadas o modificarlas agregando información (insertando genes) de otros organismos vivos. Como consecuencia, en el

campo de la computación evolutive, se puede establecer una analogía consistente en la utilización de "genes" evolutivos en procesos de búsqueda y optimización. Un gen es evolutive cuando su diseño presenta un alto grado de adaptación (Gero y Kazakov, 1996).

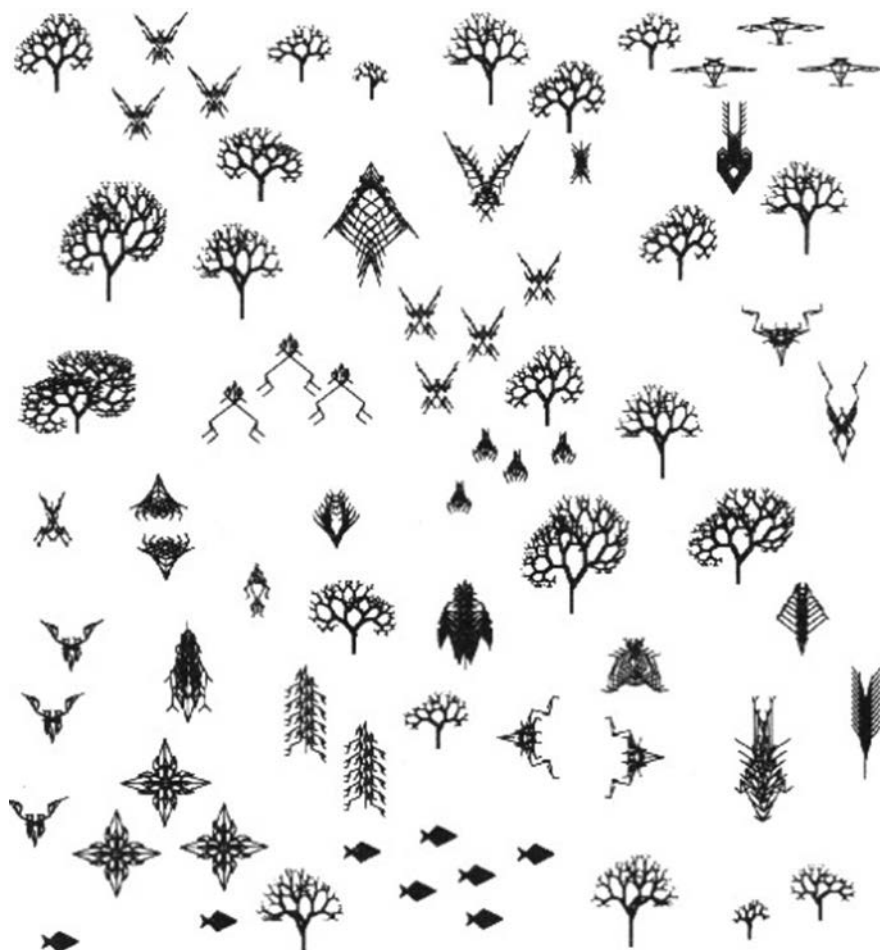
Lo que hace a un individuo mejor que otro es su *fitness* y esto sólo puede ser desarrollado a nivel fenotipo. Mientras que, sí queremos actuar sobre el material genético interviniendo en el cromosoma, estamos haciendo referencia al genotipo. El biólogo evolucionista Richard Dawkins en su libro *The Blind Watchmaker* (Dawkins, 1986) propuso una teoría para demostrar que la darwinista podría verse reflejada en los procesos de ideación del arte y de la ingeniería.

Para ello, desarrolló el programa *Biomorph* en el que el usuario jugaba el papel de "la selección natural". A partir de una forma inicial (un punto), el algoritmo presentaba en la primera generación nueve formas (Fig. 3). Según su criterio, el usuario seleccionaba uno de los genes presentados en pantalla y la información de este gen era la que definía los parámetros para la siguiente generación y así hasta encontrar la solución.

Analogía genética a través de la deformación en el diseño paramétrico. Anamorfosis, familias y linaje

En su tesis doctoral, Botero (2021) explica el funcionamiento del diseño paramétrico asociativo y de variación, planteando una comparativa entre varios procesos de representación: la anamorfosis de

3. Biomorph. Simulación de la evolución de un animal a partir de nueve parámetros. R. Dawkins (1986)



3

Samuel Morolois (1630), las deformaciones en representaciones de caras de Alberto Durero (1528), las matemáticas de D'Arcy Thompson (1961) y las modificaciones a través de la teoría de grafos, aplicadas a plantas arquitectónicas, de Phillipe Steadman (1983). La palabra *anamorfosis* viene del griego *transformar*. En el tratado sobre geometría y perspectiva de Marolois (1617) sobre la anamorfosis de un perro, se observa su transformación con múltiples variaciones, similar a la creación de familias y linajes (fig. 4). Para ello, representa un perro sobre una cuadrícula de 1 x 1 manteniendo sus proporciones norma-

3. Biomorph. Simulation of an animal's evolution from nine parameters. R. Dawkins (1986)

les. En la siguiente imagen, aplicando la anamorfosis, se observa la deformación en una proporción de 3:1 (Fig. 5).

Similar proceso había sido desarrollado por Durero en 1528, con una representación muy particular de las proporciones de caras humanas (Fig. 6), constatando cómo, al alterar dimensiones en la cuadrícula, resultan diferentes caras. D'Arcy Thompson, en el capítulo "On the theory of transformations or the comparisons of related forms" de su libro *On Growth on Form* (Thompson, 1961), utiliza un sistema similar, mostrando cómo diferentes tipo-

What makes an individual better than other is its *fitness*, and this can only be developed at the level of phenotype. Whereas, if we want to manipulate the genetic material by intervening over the chromosome, we are referring to the genotype. The evolutionary biologist Richard Dawkins, in his book *The Blind Watchmaker* (Dawkins, 1986), proposed a theory to demonstrate that the Darwinian one could be reflected in the processes of ideation of art and engineering.

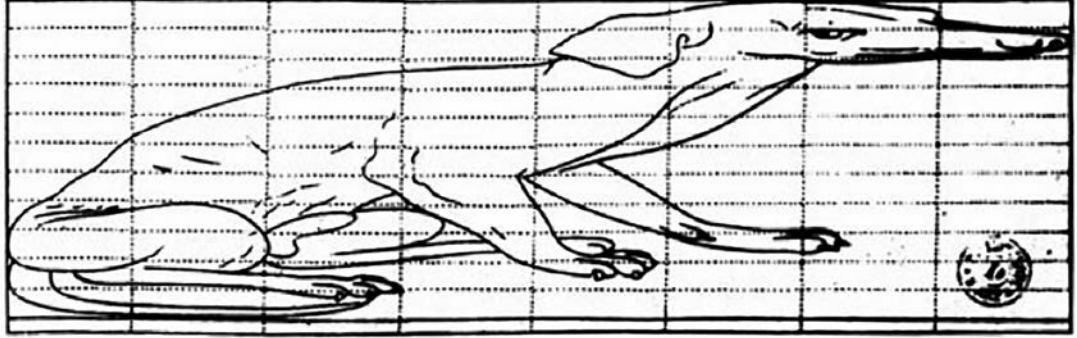
In order to do that, he developed the *Biomorph* program in which the user played the role of "natural selection". Starting with an initial form that was a point, the algorithm presented nine forms in the first generation (Fig. 3). At his discretion, the user selected one of the genes appearing in the screen and the information of this gene was the one defining the parameters for the next generation, and so forth until the solution was found.

Genetic Analogy through Deformation of Parametric Design. Anamorphosis, Families and Lineage

In her PhD thesis, Botero (2021) explains the functioning of associative and variational parametric design, setting out a comparative among several processes of representation: Samuel Marolois' anamorphosis (1630), the deformations in the representation of faces by Alberto Durero (1528), D'Arcy Thompson's maths (1961), and the modifications, using the theory of graphos, applied to architectural plans by Phillipe Steadman (1983). The word 'anamorphosis' comes from the Greek *to transform*. In Marolois' *Opera Mathematica ou Oeuvres Mathematiques Traictant de Geometrie, Perspective, Architecture, et Fortification* (1617), about the anamorphosis of a dog, the transformation of the dog can be observed with multiple variations, similar to the creation of families and lineages (fig. 4). To accomplish it, he represents a dog over a 1 x 1 graph paper maintaining his normal proportions. In the following image, after applying anamorphosis, a deformation in a proportion of 3:1 can be observed (Fig. 5).



4



5

A similar process had been developed by Durero in 1528, with a particular representation of the proportions of human faces (Fig. 6), establishing how different faces result when the dimensions of the grid are altered. D'Arcy Thompson, in the chapter "On the theory of transformations or the comparisons of related forms", from his book *On Growth on Form* (Thompson, 1961), uses a similar system, showing how different typologies of insects share a common origin (Fig. 7). A clarification is needed here that the concepts of anamorphosis considered by Marolois and Durero are wrong since they do not respond to the laws of perception in perspective to which anamorphosis has always been linked.

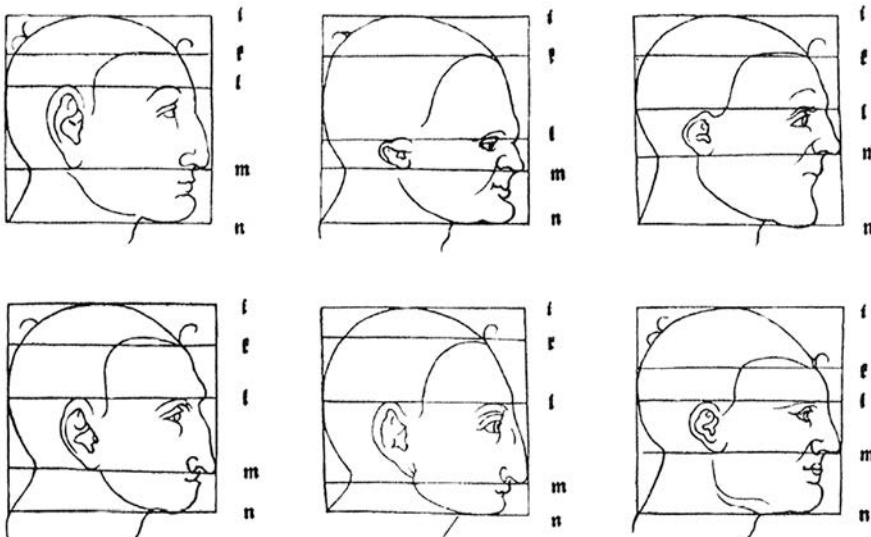
Inspired by the works mentioned, Philip Steadman (1983) in *Architectural Morphologies, an Introduction to the Geometry of Building Plans*, applies a similar process to architectural design by generating families of architectural plans. His proposal reached a higher degree of rigour when he applied the theory

logías de insectos comparten un origen común. (Fig. 7).

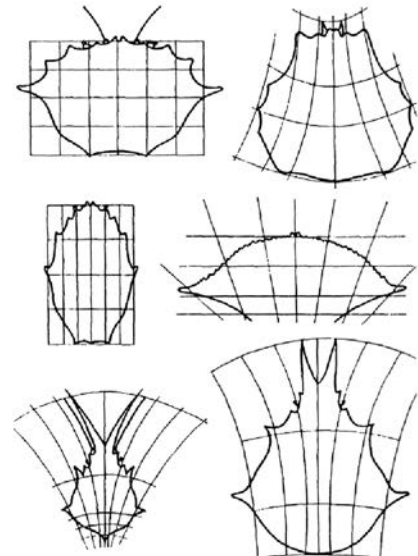
Inspirado en los trabajos mencionados, Philip Steadman (1983) en *Architectural Morphologies, an Introduction to the Geometry of Building Plans*, aplica un proceso similar, trasladado al diseño arquitectónico, generando familias de plantas de arquitectura. Su propuesta adquirió más rigor al aplicar la teoría de grafos para analizar la agregación de espacios, subdivisión, simetría y adyacencia, permitiéndole llegar a unas familias de edificios a las que, de manera similar a las gramáticas formales, les fueron establecidas un conjunto de reglas asignadas a los grafos (Figs. 8 y 9): "Se verá que, podrían producirse un infinito número de plantas particulares, las que, sin embargo, compartirían la forma básica de cuatro habitaciones" (Steadman, 1983, p. 167).

Analogía genética en arquitectura a través del método tradicional de diseño. Eisenman

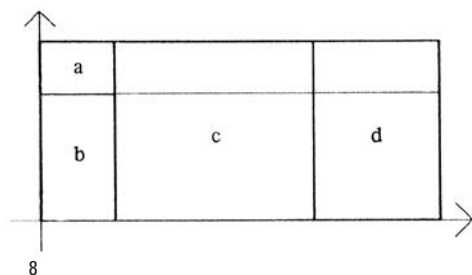
En el proyecto para el *Biocentrum* de la Universidad de Frankfurt, realizado en 1987 por Peter Eisenman, el arquitecto se basó en la analogía entre procesos arquitectónicos y biológicos, en relación a cómo se construyen las proteínas. Una serie de bloques de laboratorios paralelos se interrumpen por un volumen central que complejiza y enriquece la composición (Fig 10). Eisenman utilizó cuatro formas geométricas a las que asignó un color específico, representando los elementos básicos y necesarios para crear la estructura del ADN: Adenina (A), Guanina (G), Cianina (C) y Tiamina (T) (Figs. 10 y 11).



6



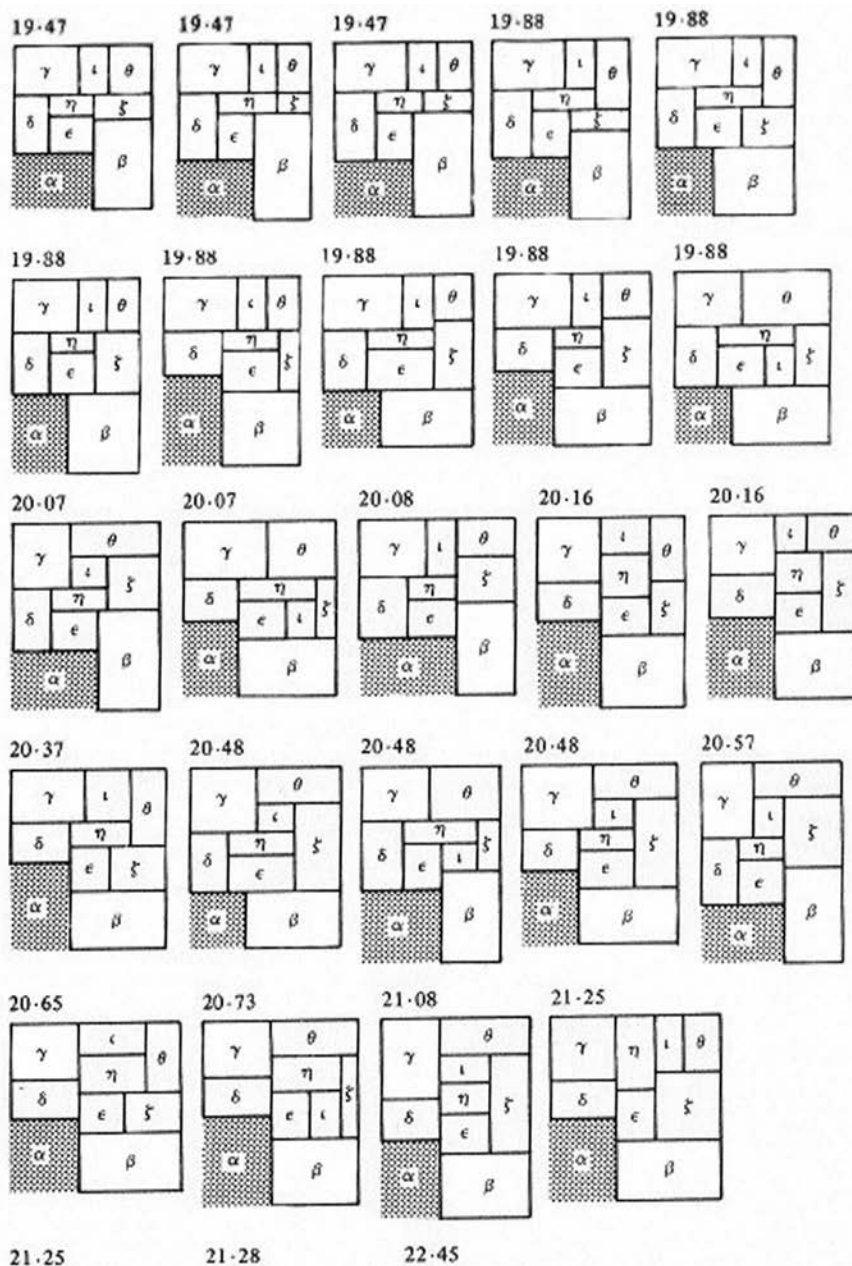
7



8

- 4-5. Anamorfosis de la imagen de un perro, publicada por S. Marolois (1617)
- 6. Modificaciones en la cuadrícula. Diferentes tipologías de caras, razas, familia. Dureró (1528)
- 7. Caparazones de varios cangrejos, relacionados a través de su forma por D'Arcy Thompson (1961)
- 8. Esquema de inicio y deformaciones básicas. Steadman (1983)
- 9. Familia de plantas generadas a partir de una planta modelo. P. Steadman (1983)

- 4-5. Anamorphosis of a dog's image, published by S. Marolois (1617)
- 6. Modifications of the grid. Different typologies of faces, races, family. Dureró (1528)
- 7. Shells of various crabs, related in their form by D'Arcy Thompson (1961)
- 8. Initial scheme and basic deformations. Steadman (1983)
- 9. Family of plans generated from a model plan. P. Steadman (1983)



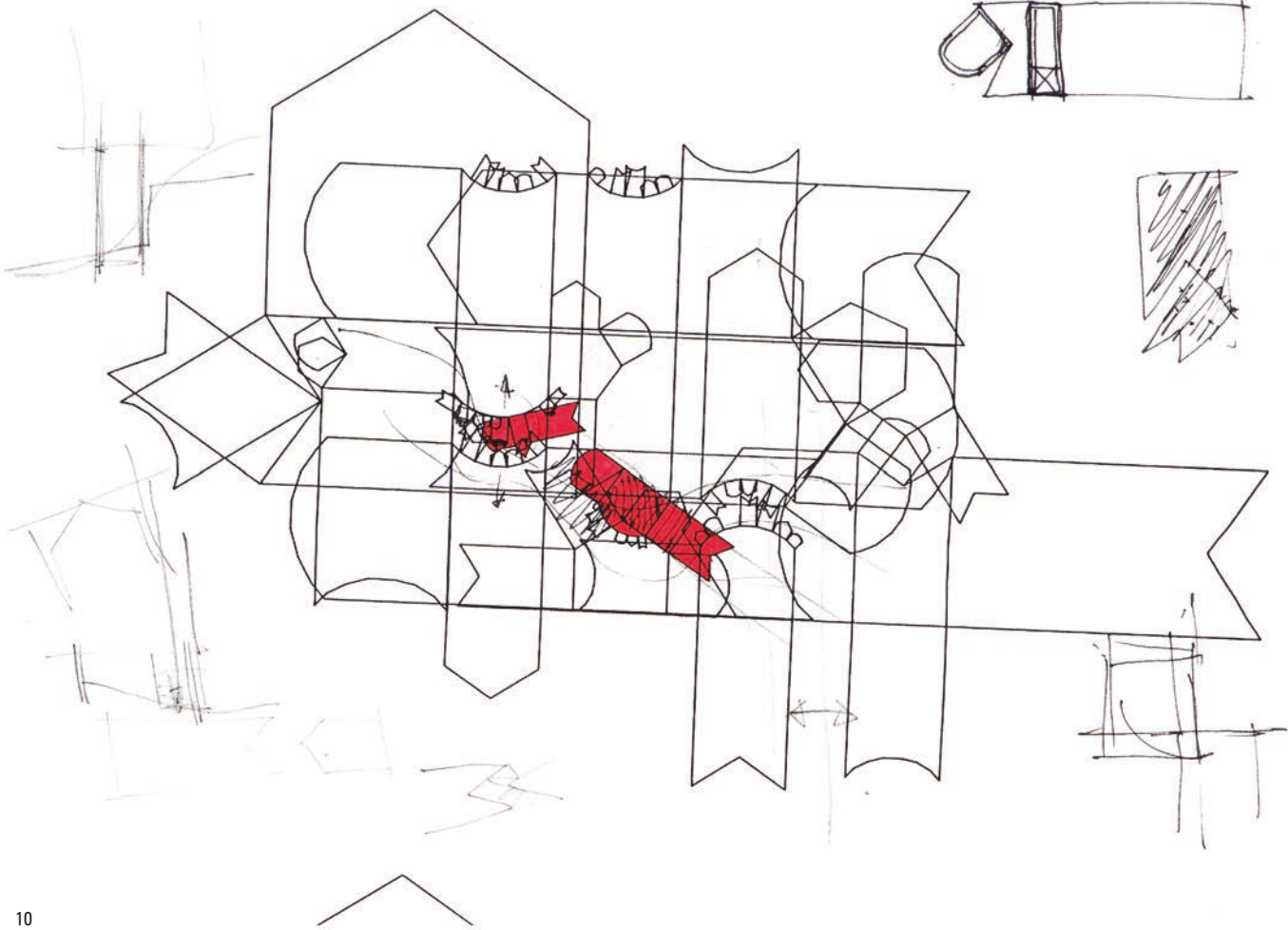
9

En la memoria del proyecto redactado para el concurso se indica que, trasponiendo estas figuras biológicas a una forma arquitectónica, se puede crear un edificio que sea arquitectónico y simbólicamente específico de la disciplina que alberga. De esta manera, Eisenman establece una analogía entre construcción biológica y arquitectónica, trasvasando la estructura del ADN a la forma arquitectónica. No solo representa la configuración física del ADN, sino que articula en el proyecto tres procesos básicos dentro de la producción de proteínas: replicación, transcripción y traslación.

Más que representar simplemente la configuración física del ADN (es decir, una doble espiral), la forma del proyecto es el resultado de la acción de

los tres procesos más básicos por los que el ADN fabrica proteínas; replicación, transcripción y traslación. De las figuras geométricas que los biólogos utilizan para explicar estos procesos, se usan cuatro, cada una con un color específico, que simbolizan el código del ADN (...). Descubrimos que existe una similitud entre los procesos de geometría fraccionaria y del ADN. Esta similitud fue utilizada para proponer una analogía entre los procesos arquitectónicos y los biológicos, que

of graphos to analyse the addition, subdivision, symmetry and adjacency of spaces, allowing him to develop families of buildings which comply with an ensemble of requirements, set for the graphos, similar to formal grammars (Figs. 8 & 9): "It will be seen that, in this way, an infinite number of particular plans might be produced, all of which would, however, share the same essential four-room shape." (Steadman, 1983, p. 167)



10

Genetic Analogy in Architecture through the Traditional Design Method. Eisenman

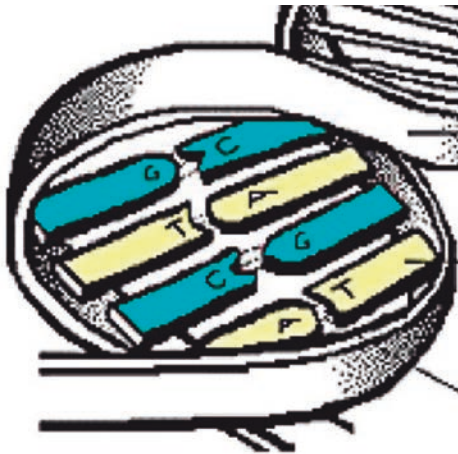
In the project for the Biocentrum at Frankfurt University, designed in 1987 by Peter Eisenman, the architect's starting point was the analogy between architectural and biological processes, in particular, how proteins are built. A series of parallel lab blocks are interrupted by a central volume enriching and making more complex the composition (Fig 10). Eisenman used four geometrical forms and assigned a specific colour each, representing the basic and necessary elements to recreate the structure of DNA: Adenine (A), Guanine (G), Cyanine (C) and Thiamine (T) (Figs. 10 & 11). In the specifications of the project drawn up for the competition it is explained that by transposing these biological shapes into architectural form, an architectural building that symbolically reflects the discipline it accommodates can be created. In this way, Eisenman establishes an analogy between

hizo posible un proyecto no solamente arquitectónico o biológico, sino partícipe de ambas disciplinas. (Porras-Ysla y Soriano, 1988, p. 86)

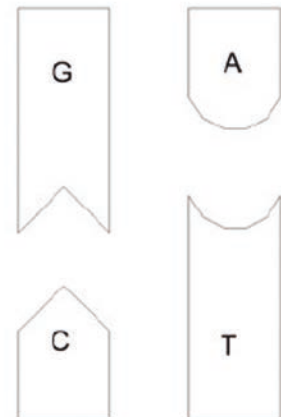
Por tanto, el proyecto del *Bio-centrum* se basa en los conceptos biológicos de los procesos del ADN y es concebido supeditando este

código figurativo y sus símbolos, a los procesos biológicos, interpretados mediante el uso de la geometría fractal que guardaba similitud con la geometría del ADN.

Como en la biología, la forma generatriz se aplica a una forma base. Se establece así una analogía entre



11





10. Boceto del Biocentrum de la Universidad de Frankfurt. P. Eisenman, (1987)

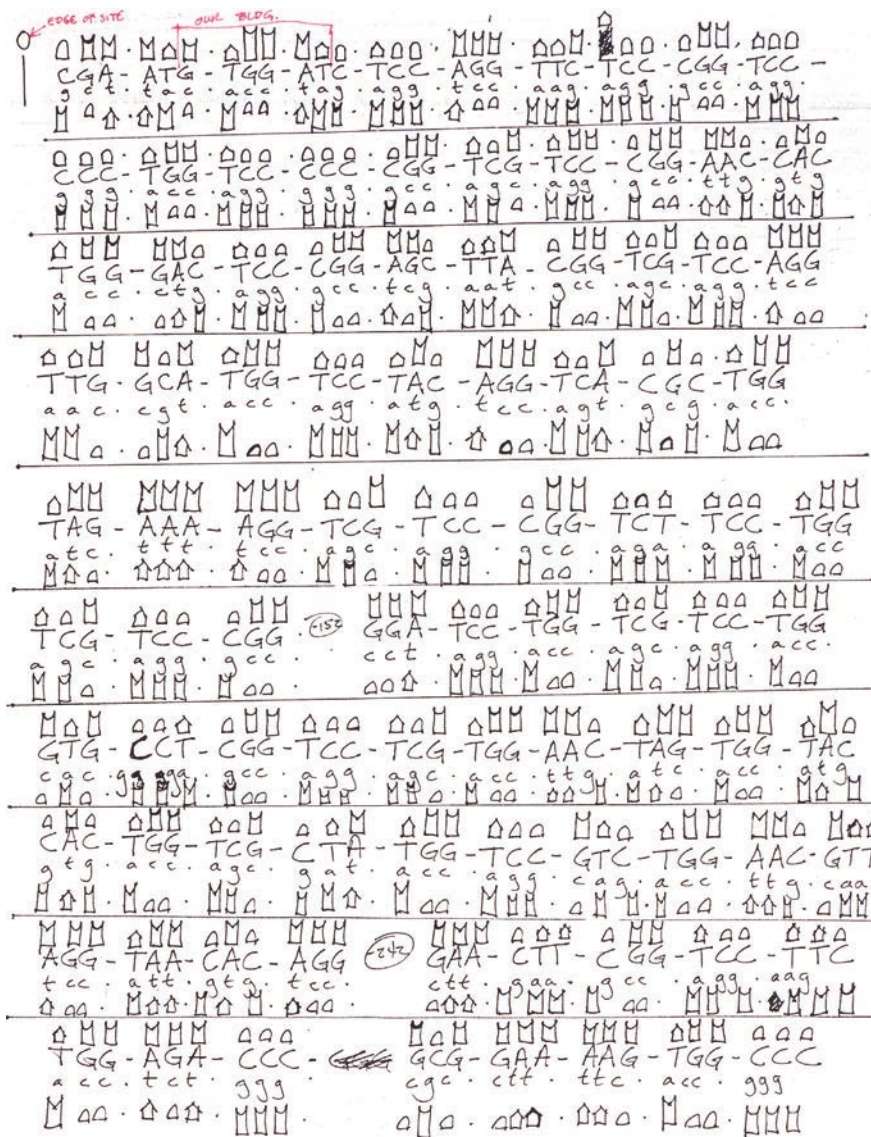
11. Símbolos geométricos asignados a códigos: arco: Adenina (A), cinta: Guanina (G), pentágono: Cianina (C), y cuña: Tiamina (T)

12. Hélice de ADN, Emparejamiento de proteínas. Representación esquemática del código de ADN del colágeno. P. Eisenman (1987)

10. Sketch of Biocentrum, University of Frankfurt. P. Eisenman (1987)

11. Geometric symbols assigned to codes: arch, Adenine (A); ribbon, Guanine (G), pentagon, Cyanine (C), and wedge, Thiamine (T)

12. DNA helix. Pairing of proteins. Schematic representation of the collagen's DNA code. P. Eisenman (1987)



los procesos biológicos y el proceso geométrico arquitectónico. El proceso de replicación de la cadena de ADN que se separa en dos ramas para formar nuevas cadenas complementarias, inspira a Eisenman en su proyecto. El modelo arquitectónico extrae los aspectos biológicos, representando la abstracción de las formas en los volúmenes del vestíbulo central, en donde se ven representados estos símbolos y los tres procesos de replicación, transcripción y traslación (Figs. 13-17). En el tercer proceso biológico, el de traslación, al igual que el código ADN se desplaza fuera de la estructura de la proteína, en el edificio, las trazas biológicas se trasladan a las formas rectilíneas arquitectónicas.

12

Analogía genética en el diseño paramétrico. Zaha Hadid

La geometría y la materialización de las características organizadoras centrales de la galería son el resultado tanto de la transferencia práctica de conocimientos entre disciplinas como de estructuras de tejido de linaje que Zaha Hadid había emprendido en el pasado. (Bhooshan, 2017, p. 133).

El diseño paramétrico basado en la asociación de variables es una herramienta que en sus inicios fue

pensada para el diseño industrial y la producción en serie, aunque poco a poco se ha ido integrando en procesos de ideación, creación y construcción del proyecto arquitectónico. Durante la fase creativa del proceso de diseño, esta herramienta permite representar una analogía con la genética. Crear un modelo paramétrico consiste en asignarle una serie de variables a los elementos geométricos, resultando la forma del modelo de diseño.

biological and architectural construction, transferring the structure of DNA into architectural form. The project not only represents the physical configuration of DNA but also articulates the three basic processes in the production of proteins: replication, transcription, and translation.

More than just representing the physical configuration of DNA (that is, a double helix), the form of the project is the result of the interaction of the three most basic processes DNA uses to produce proteins: replication, transcription, and translation. From the geometric forms biologists use to explain these processes, four are used, each one of them with a specific colour that



13. Gráfico de geometría fractal. Representación del proceso de réplica en el código de ADN del colágeno. P. Eisenman (1987)

14. Proceso de transcripción del código. El tamaño de la forma generatrix varía en función de la figura base a la que se aplica. Biocentrum. P. Eisenman (1987)

15. Analogía entre el proceso arquitectónico y el proceso biológico. Representación del proceso del proyecto. Biocentrum, Eisenman (1987)

16. Planta de la propuesta Biocentrum. P. Eisenman (1987)

17. Perspectiva de la propuesta Biocentrum. P. Eisenman (1987)

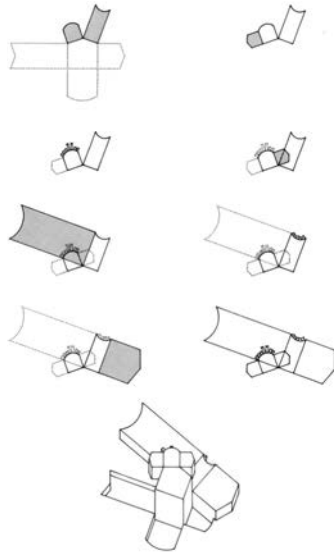
13. Fractal geometry graph. Representation of the replication process of collagen's DNA code. P. Eisenman (1987)

14. Code transcription process. The size of the generatrix form varies depending on the base figure to which it is applied. Biocentrum. P. Eisenman (1987)

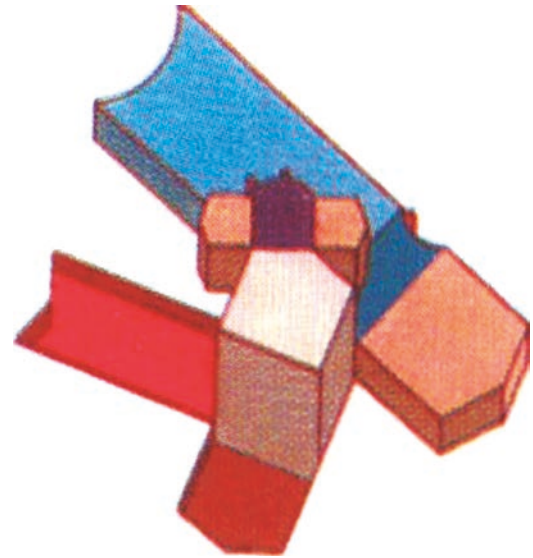
15. Analogy between the architectural and biologic processes. Representation of the project's process. Biocentrum, Eisenman (1987)

16. Proposal's plant. Biocentrum. P. Eisenman (1987)

17. Proposal's perspective. Biocentrum, P. Eisenman (1987)



13



14



15

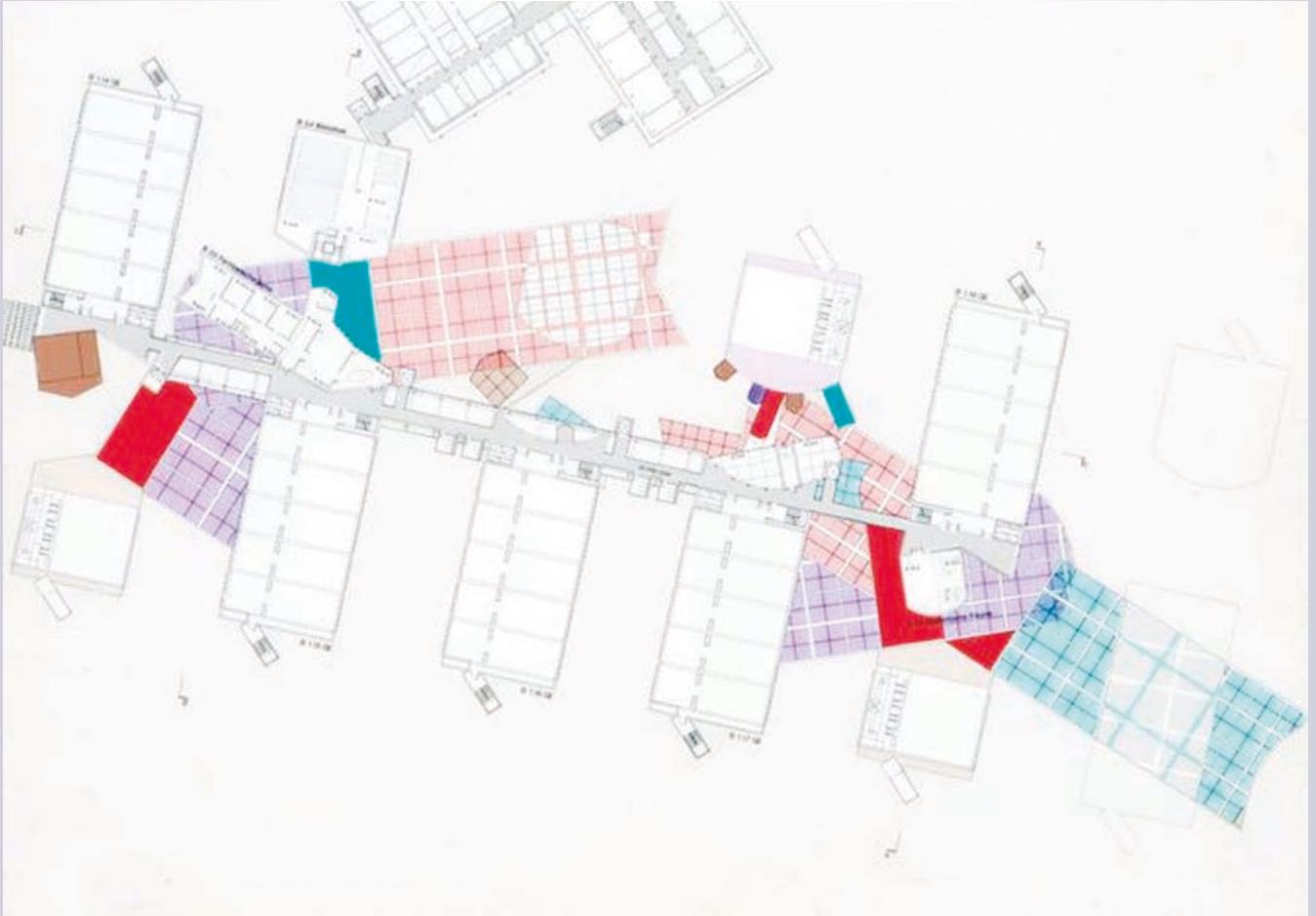
symbolises the DNA code (...) We discovered that a similarity exists between the processes of fractional geometry and DNA. This similarity was used to propose an analogy between architectural and biological processes that made a not just architectural or biologic, but draw from both disciplines (Porras-Ysla & Soriano, 1988, p. 86).

Therefore, the Biocentrum project is based in the biological concepts of DNA processes, and it is conceived submitting

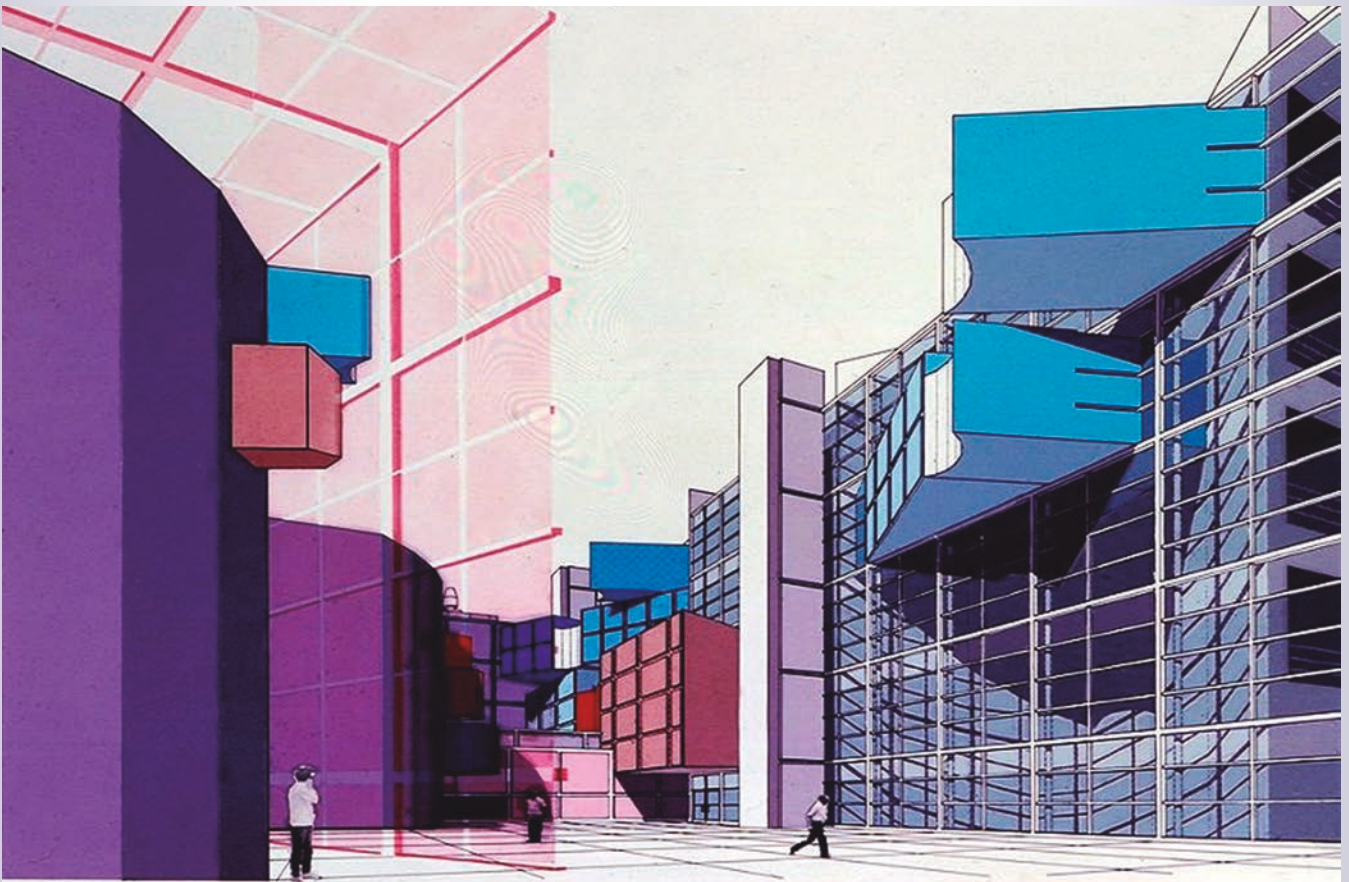
Relacionando estos elementos entre sí, el diseñador tiene la oportunidad de controlar el modelo digital, llegando a manejar un único parámetro. Al crear pequeñas modificaciones en estas variables se puede reconfigurar todo el modelo debido a que las formas geométricas de base están asociadas entre

sí. Este hecho genera una serie de familias o linajes y es aquí donde la analogía con la genética se puede ver relacionada.

La galería Winton en el Museo de Ciencias de Londres, proyectada por Zaha Hadid en 2016, es un ejemplo claro de diseño paramétrico, en el que se constata cómo



16



17



this figurative code and its symbols to the biological processes interpreted through the use of fractal geometry, which is similar to DNA geometry.

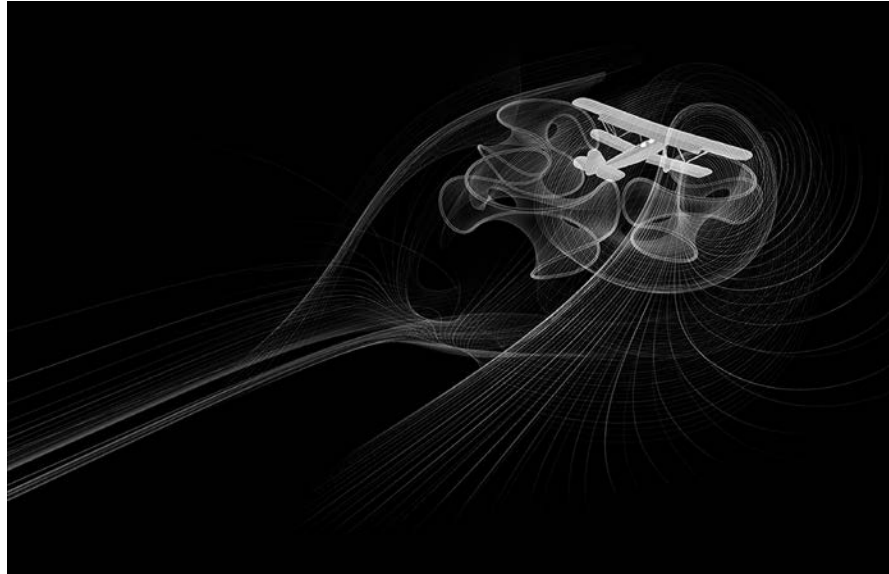
As in biology, the generatrix is applied to a base form. In this way, an analogy between biological and the geometric architectural processes is established. The replication process of the DNA chain that divides it into two branches to form new supplementary chains inspires Eisenman in his project. The architectural model gathers from the biological aspects, representing the abstraction of their forms in the volumes of the central hall, where these symbols and the three processes of replication, transcription and translation are represented (Figs. 13-17). In the third biological process, that of translation, the biological traces are translated to the rectilinear architectural forms of the building, the same way the DNA code moves out from the structure of the protein.

Genetic Analogy in Parametric Design. Zaha Hadid

The geometry and materialization of the central arranging characteristics of the gallery are the result of the practical transfer of knowledge between disciplines as much as of the lineage of a fabric structure that Zaha Hadid had been studying in the past (Bhooshan, 2017, p. 133).

The parametric design based on the association of variables is a tool that was firstly conceived for industrial design and mass production, though little by little it has been getting integrated in the ideation, creation, and construction processes of the architectural project. During the creative phase of the design process, this tool allows to represent an analogy with genetics. To create a parametric model consists on assigning a series of variables to geometrical elements, resulting in the form of the design model.

Connecting these elements to each other, the designer has the opportunity to control the digital model, getting to manipulate a sole parameter. By introducing small modifications of these variables, the whole model can be reconfigured, as the basic geometric forms are linked to each other. This fact generates a series of families or lineages and it is here where the analogy with genetics can be seen.

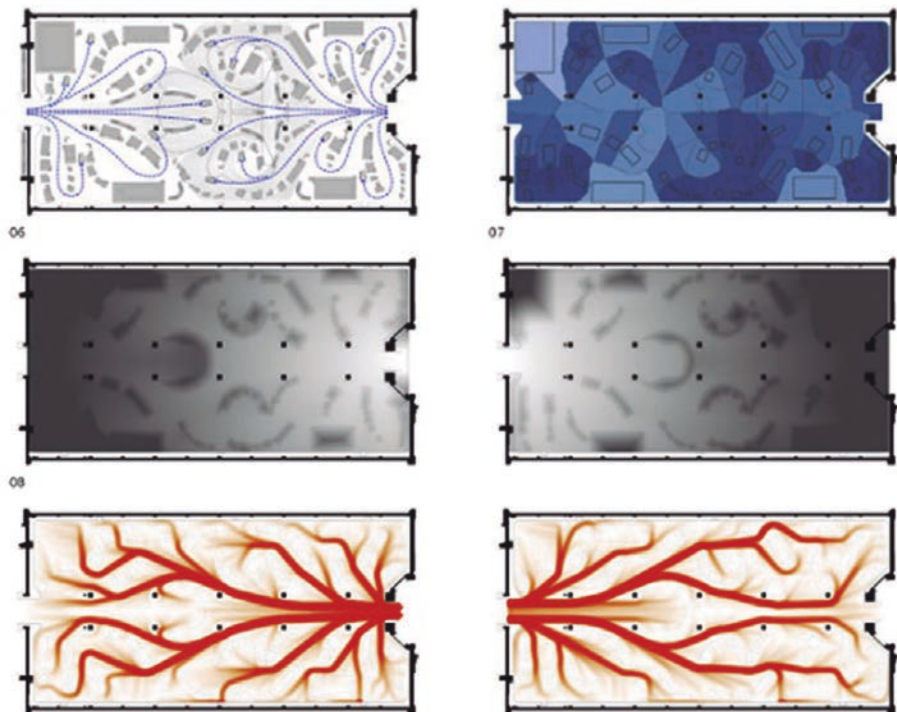


18

la parametrización del modelo es de gran ayuda durante el proceso creativo, ya que permite manipular las formas, reconfigurando el modelo general después de cada cambio. Al mismo tiempo permite su construcción con técnicas de control numérico.

La citada galería recoge una exposición permanente para explicar cómo las matemáticas han

influido en algunos avances de la humanidad. Una de las piezas de la exposición es el avión Handley Page *Gugnunc*, una nave experimental construida en 1929 para un concurso de aviones seguros. Zaha Hadid se inspiró para el diseño de la galería precisamente en el ala de este prototipo, convirtiéndose así en el protagonista de la sala. El diseño se basa en las ecuaciones de



19

18. Diseño basado en ecuaciones de flujos de aire para The Winton Gallery. Z. Hadid (2016)
 19-20. Diagramas que representan diversas soluciones formales según se apliquen requisitos, ergonómicos, circulatorios y sensoriales. Z. Hadid, (2016)

18. Design based in equations of air fluxes for The Winton Gallery. Z. Hadid (2016)
 19-20. Diagrams representing several formal solutions depending on which requirements: ergonomic, circulatory or sensory, are applied. Z. Hadid (2016)

los flujos de aire utilizados en la aviación, por lo que el proyecto representa el aire que fluía alrededor del avión en vuelo (Fig. 18). La iluminación muestra cómo el aire se mueve, mostrando los flujos de viento a través de sus alas.

Zaha Hadid pudo utilizar los modelos y el código reales en lugar de inspirarse simplemente en la apariencia formal de los flujos de fluidos. Tal ósmosis interdisciplinaria, en las primeras etapas, se transformó en roles más claramente definidos para arquitectos, ingenieros y contratistas en las etapas posteriores del Proyecto. (Bhooshanp. 2017, p. 87).

El diseño paramétrico permite la simbiosis entre disciplinas, pudiendo integrar en el diseño criterios estructurales, sociales, simulaciones de flujo, etc. En la figura 1 se muestra el esquema de geometría asociativa al que se le asignan diferentes variables y se le superponen

las superficies adyacentes que más adelante definirán la forma del pabellón. Esta piel que los recubre, se adapta a cada modificación de sus parámetros (aplicados en los diámetros, radios etc.). De cada modificación de las variables se podría obtener un modelo diferente. Al aplicar el algoritmo genético a este proceso, llegaríamos a la obtención de un sinnúmero de pabellones.

Los objetos y la narrativa de la exposición son el motor que determina la organización espacial de la galería, utilizando aspectos sensoriales y espaciales fáciles de registrar, como son la iluminación, los colores, las curvaturas, el campo visual fluido o interrumpido, etc. Si los objetos cambian, la distribución espacial de la galería ha de adaptarse a estos cambios. Un algoritmo diseñado para tal fin procesó la información que se usó para disponer

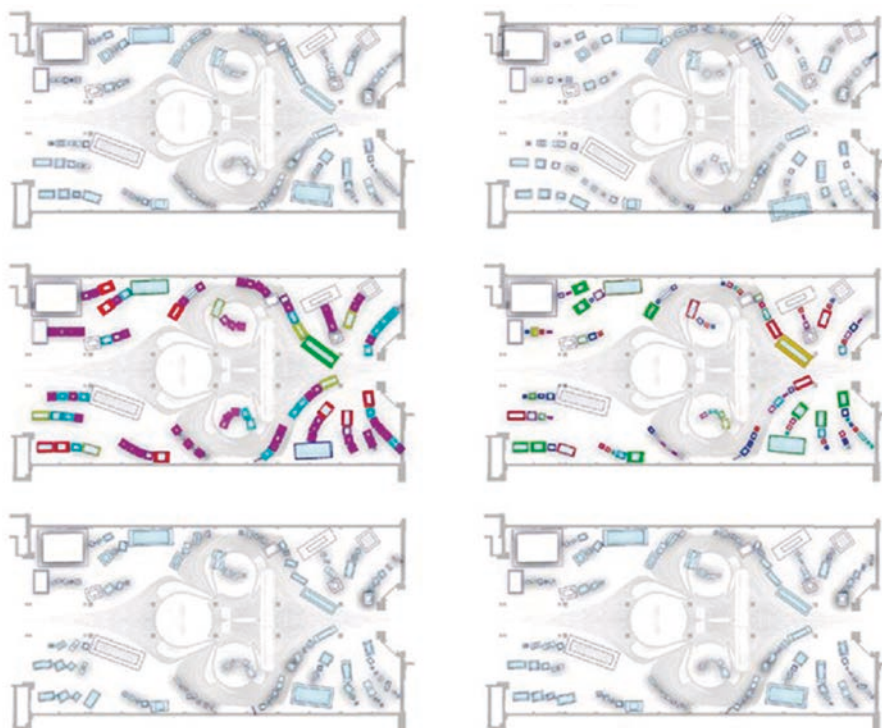
The Winton Gallery in the Science Museum of London, designed by Zaha Hadid in 2016, is a clear example of parametric design, which validates the parametrization of the model as a great tool during the creative process, as it allows to manipulate forms reconfiguring the general model after each change. At the same time, it allows its construction with numerical control techniques.

The Gallery accommodates a permanent exhibition that explains how maths influenced some of the advancements of humanity. One of the pieces is the plane Handley Page *Gugnunc*, an experimental aircraft from 1929 designed for a competition of safe planes. As a matter of fact, Zaha Hadid's inspiration for the gallery came from the wing of this prototype, becoming in this way the focal point of the room. The design is based in the equations of air fluxes used in aviation, therefore, the project represents the air that flew around the aircraft in full flight (Fig. 18). The lighting shows how the air moves, as fluxes of wind can be seen through its wings.

Zaha Hadid was able to use the real models and code instead of getting inspired just in the formal appearance of the flux of fluids. That interdisciplinary osmosis of the first stages was transformed in more clearly defined roles for architects, engineers and contractors in subsequent stages of the project (Bhooshanp. 2017, p. 87).

Parametric design allows the symbiosis of disciplines, as structural and social criteria, simulations of fluxes, etc. can be integrated in the design. In Fig. 1, the scheme of the associative geometry is shown. Different variables are assigned to the scheme and adjacent surfaces are superposed that will latter define the form of the pavilion. The covering skin adapts to each modification of its parameters (applied in the diameters, the radius, etc.). A different model could be extracted from each modification of the variables. By applying the genetic algorithm to this process, we would obtain endless pavilions.

The objects and narrative of the exhibition are the engine determining the spatial organization of the gallery, using sensorial and spatial aspects easy to register, such as the lighting, colours, curves, the free-flowing or interrupted visual field, etc. If objects





change, the spatial distribution of the gallery needs to be adapted to the changes. An algorithm designed with this aim processed the data used to distribute the objects of different shapes taking into account their dimensions, position, circulation fluxes, accesses and visuals (Figs. 19-20).

The geometry and materialization of the central arranging characteristics of the gallery are the result of the practical transfer of knowledge between disciplines as much as of the lineage of fabric structures that the office had been studying in the past. The geometry of these constructions, the so-called minimal surfaces, was thoroughly studied by pioneer architect and engineer Frei Otto. (Bhooshanp. 2017, p. 87)

Interest on these matters is on the rise. In 2017, KINE[SIS]TEM'17 was the first international congress, held in Portugal, in which research and design works on the integration of natural geometries and the fundamental mechanics and systems applied to the scale, function and aesthetics of architecture were shared and discussed (Oliveira et al., 2018). In an article in *Nexus*, Brian Holland (2010, pp. 493-4) gathers recent reflections and experiments pointing out that "the development of an evolutive methodology requires a design intuition completely new." As for Olivieri et al. (2020, p. 191), they reclaim architect Vittorio Giorgini (1926-2010): "He built his works based on the experimental study of forms connected to the natural environment and on the analysis of vernacular constructions, which are the ground for the cultural expression of a community." Giorgini started by observing natural structures and making models as the fundamental means of his research, coining the term "Spaceology" to refer to the interaction between humans and the natural environment (p. 191).

Conclusions

What at the end of last century was considered a graphic utopia based in architectures able to evolve and grow as organic systems from nature, is currently viable thanks to the advances in computational design technology. This has enabled architectural design to incorporate processes close to evolutive systems present in nature. The possibility to control the creation of families of buildings and to intervene in phases of the design process

los objetos de diferentes formas, basándose en sus dimensiones, colocación, flujos de circulación, accesos y visuales (Figs. 19-20).

La geometría y la materialización de estas características organizadoras centrales de la galería son el resultado tanto de una transferencia práctica de conocimiento entre disciplinas como de un linaje de estructuras de tela que la oficina ha emprendido en el pasado. La geometría de estas construcciones, las llamadas superficies mínimas, fue estudiada intensamente por el arquitecto e ingeniero pionero Frei Otto. (Bhooshanp. 2017, p. 87)

Conclusiones

Lo que a finales del siglo pasado se planteaba como una utopía gráfica basada en arquitecturas que pudieran evolucionar y crecer, como los sistemas orgánicos de la naturaleza, es actualmente viable gracias a los avances de las tecnologías de diseño computacional. Esto ha permitido que el diseño arquitectónico pueda incorporar procesos que se aproximan a los sistemas evolutivos presentes en la naturaleza. No deja de ser fascinante la posibilidad de controlar la creación de familias de edificios y de intervenir en etapas del proceso de diseño de la misma manera que un ingeniero genético decide en donde hacer una mutación, un cruzamiento o una recombinación.

De esta manera, los proyectos pueden llegar a ser no solo arquitectónicos, sino partícipes de ambas disciplinas, como sucede en el proyecto de Peter Eisenman para el *Biocentrum*. Al desdibujar los límites interdisciplinarios, estableció similitudes entre ADN y geometrías con el objetivo de crear herramientas de diseño generativo que le permitieron explorar diversas opciones formales. Así, la autonomía tradi-

cional de la arquitectura se diluye y da lugar a una serie de procesos morfogénicos que crean todo un mundo de formas arquitectónicas.

Por otro lado, el diseño paramétrico permite al diseñador poder controlar tres fases dentro del proyecto, desde el proceso creativo hasta la construcción del mismo, como en The Winton Gallery de Zaha Hadid. Es el mismo diseñador el que define el nivel de control del modelo, creando una buena estrategia de parametrización desde el inicio, lo que le permitirá tener el control total de estas fases del proyecto.

Además, el uso de diversas variables previstas en los parámetros previos convierte a estos modelos en herramientas con un gran potencial en el diseño, consiguiendo así dar respuestas muy diferenciadas a una sociedad heterogénea ávida de soluciones desarrolladas de manera autónoma para cada caso (Schumacher, 2008).

La utilización de algoritmos evolutivos en arquitectura, ha pasado de ser una herramienta de ayuda al proceso creativo a través de los procesos morfogénicos, a una herramienta que nos permite optimizar el proyecto, considerando costes de producción, rendimiento energético y facilitación de proyectos sostenibles (Zhang et al., 2021). ■

Referencias

- BHOOSHAN, S., 2017. Parametric design thinking: A case-study of practice-embedded architectural research. *Design Studies*. nº 52, Londres: Elsevier Ltd., pp. 115-143. <https://doi.org/10.1016/j.desstud.2017.05.003>.
- BHOOSHAN, S., 2017. Collaborative design combining Computer Aided GGeometry design and Building Information Modelling. *Architectural Design*. Volume 87, Issue 3. Special Issue: Workflows: Expanding Architecture's Territory in the Design



- and Delivery of Buildings, pp 82-89. <https://doi.org/10.1002/ad.2177>
- BOTERO, N., 2021. Arquitectura y genética como analogía en el proceso de diseño arquitectónico. Tesis doctoral. Barcelona: UPC. <http://hdl.handle.net/10803/672105>
 - CHERFAS, J., 1982. *Introducción a la Ingeniería Genética*. Madrid: Alianza Universidad. ISBN: 8420623997.
 - DAWKINS, R., 1986. *The Blind Watchmaker*. Nueva York: W. W. Norton & Company.
 - DE PORRAS-YSLA, F., SORIANO, F., 1988. Biocentro para la universidad de Frankfurt. *Revista Arquitectura*, nº 270. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, pp 82-91.
 - DURERO, A., 1987. *Los Cuatro Libros de la simetría de las partes del cuerpo humano*. México: Universidad Autónoma de México y UNAM.
 - FOGEL, L.J., OWENS A.J y Walsh M.J., 1966. *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. Nueva York: Wiley.
 - GERO, J. S. y KAZAKOV, V. A., 1996. Evolving design genes in space layout planning problems. *Artificial Intelligence in Engineering*, nº 12(3), pp 163-176. DOI:10.1016/S0954-1810(97)00022-8.
 - HOLLAND, J., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
 - KUROKAWA, K., 1977. *Metabolism in Architecture*. Londres: Studio Vista.
 - MAROLOIS, S., 1617. *Opera Mathematica ou Oeuvres Mathematiques. Traictant de Geometrie, Perspective, Architecture, et Fortification*. Amsterdam: Johannes Janssonius.
 - ORE, O., 1995. *Grafos y sus aplicaciones*. Madrid: DLS-Euler.
 - RECHENBERG, I., 1973. *Evolutionstrategie: Optimierung Technischer Systemenach Prinzipien der Biologischen Evolution*. Stuttgart: Frommann-Holzboog Verlag. <https://doi.org/10.1002/fedr.19750860506>
 - STEADMAN, J. P., 1983. *Architectural Morphologies, an introduction to the geometry of building plans*. Londres: Pion Limited. ISBN: 978-0850861433
 - SCHUMACHER, P., 2008. *Parametricism as Style – Parametricist Manifesto*. Londres.
 - THOMPSON, D'Arcy., 1969. *On Growth on Form*. Cambridge: University Press, 1969.
 - ZHANG, J., Liu, N., y Wang, S., 2021. "Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm". *Energy and Buildings*, nº 244. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111033>.

the same way a genetic engineer does when deciding where to introduce a mutation, a breeding or a recombination is fascinating. In this way, projects can not only be architectonic but part of both disciplines, as in Peter Eisenman's project for the Biocentrum. By blurring the interdisciplinary borders, the architect established similarities between DNA and geometries with the aim of creating tools for generative design that allowed him to explore various formal options. Hence, the traditional autonomy of architecture fades away and gives room to a series of morphogenetic processes that create a whole world of architectonic forms. On the other hand, the parametric design gives the designer the possibility of controlling three phases within the project, from the creative process to its construction, as in The Winton Gallery by Zaha Hadid. It is the same designer who defines the level of control over the model creating a good parametric strategy from the start that will allow him to completely control these phases of the project.

Moreover, the use of various variables foreseen in previous parameters turns these models into tools with an important design potential, achieving to procure highly customised answers to a heterogeneous society greedy of autonomously developed solutions to each case (Schumacher, 2008). The use of evolutive algorithms in architecture has evolved from being a tool helping the creative process through morphogenetic processes to a tool that allows the optimization of the project by considering production costs, energy performance, and facilitating sustainable projects (Zhang et al., 2021). ■

References

- BHOOSHAN, S., 2017. Parametric design thinking: A case-study of practice-embedded architectural research. *Design Studies*. N. 52, Londres: Elsevier Ltd., pp. 115-143. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.003>.
- BHOOSHAN, S., 2017. Collaborative design combining Computer Aided Geometry design and Building Information Modelling. *Architectural Design*. Volume 87, Issue 3. Special Issue: Workflows: Expanding Architecture's Territory in the Design and Delivery of Buildings, pp 82-89. <https://doi.org/10.1002/ad.2177>
- BOTERO, N., 2021. Arquitectura y genética como analogía en el proceso de diseño arquitectónico.

- Tesis doctoral. Barcelona: UPC. <http://hdl.handle.net/10803/672105>
- CHERFAS, J., 1982. *Introducción a la Ingeniería Genética*. Madrid: Alianza Universidad. ISBN: 8420623997.
- DAWKINS, R., 1986. *The Blind Watchmaker*. Nueva York: W. W. Norton & Company.
- DE PORRAS-YSLA, F., SORIANO, F., 1988. Biocentro para la universidad de Frankfurt. *Revista Arquitectura*, nº 270. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, pp 82-91.
- DURERO, A., 1987. *Los Cuatro Libros de la simetría de las partes del cuerpo humano*. México: Universidad Autónoma de México y UNAM.
- FOGEL, L. J., OWENS A. J. y Walsh M. J., 1966. *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. Nueva York: Wiley.
- GERO, J. S. y KAZAKOV, V. A., 1996. Evolving design genes in space layout planning problems. *Artificial Intelligence in Engineering*, nº 12(3), pp 163-176. DOI: 10.1016/S0954-1810(97)00022-8.
- HOLLAND, J., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- HOLLAND, B. 2010. Computational Organicism: Examining Evolutionary Design Strategies in Architecture. *Nexus Network Journal*, vol. 12, nº 3. DOI: 10.1007/s00004-010-0040-6.
- KUROKAWA, K., 1977. *Metabolism in Architecture*. Londres: Studio Vista.
- MAROLOIS, S., 1617. *Opera Mathematica Ou Oeuvres Mathematiques. Traictant de Geometrie, Perspective, Architecture et Fortification*. Amsterdam: Johannes Janssonius.
- OLIVEIRA, M., Moreira V. y Leitão, C. 2018. KINE [SIS]TEM'17. From Nature to Architectural Matter International Conference. *Nexus Netw J*, 20. DOI: 10.1007/s00004-018-0369-9.
- ORE, O., 1995. *Grafos y sus aplicaciones*. Madrid: DLS-Euler.
- RECHENBERG, I., 1973. *Evolutionstrategie: Optimierung Technischer Systemenach Prinzipien der Biologischen Evolution*. Stuttgart: Frommann-Holzboog Verlag. <https://doi.org/10.1002/fedr.19750860506>
- STEADMAN, J. P., 1983. *Architectural Morphologies, an introduction to the geometry of building plans*. Londres: Pion Limited. ISBN: 978-0850861433
- SCHUMACHER, P., 2008. *Parametricism as Style – Parametricist Manifesto*. Londres.
- THOMPSON, D'Arcy., 1969. *On Growth on Form*. Cambridge: University Press, 1969.
- ULIVIERE, D., GIORGETTI, L. y TOGNETTI, B. 2020. Vittorio Giorgini Spatiology-Morphology Architect. *Nexus Netw J*, 22, nº 3. DOI: 10.1007/s00004-019-00453-4.
- ZHANG, J., Liu, N., y Wang, S., 2021. "Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm". *Energy and Buildings*, nº 244. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111033>