

# **Arquitectura y genética**

*Como analogía en el proceso de diseño arquitectónico.*

**Doctoranda: Natalia Botero Márquez**

**Directora de Tesis: Doctora Carmen Escoda**

## INDICE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Introducción.</b>   | 5   |
| <b>Finalidad de la tesis.</b>  | 10  |
| <b>PRIMERA PARTE. <i>Sobre la imitación de la naturaleza.</i></b>                            | 11  |
| 1. Antecedentes.   | 12  |
| 1.1. Ciencia y arquitectura.   | 21  |
| 1.2. <i>Imitatio Naturae</i> - Simulación Visual.  | 35  |
| 1.3. Analogía orgánica.  | 37  |
| 1.3.1. Antecedentes del organicismo.   | 37  |
| 1.3.2. La retórica y la poética como influencia en el organicismo.                           | 42  |
| 1.3.3. Organicismo Científico.   | 45  |
| 1.3.3.1. El organicismo en Norteamérica.   | 56  |
| 1.3.4. Analogía orgánica en la obra de Rudolf Steiner.                                       | 64  |
| 1.3.5. Descubrimiento de la doble hélice del ADN y la proliferación de la analogía genética. | 68  |
| 1.3.6. La analogía genética en el trabajo de los Metabolistas.                               | 72  |
| 1.3.6.1. La filosofía de la simbiosis.   | 76  |
| 1.3.6.2. Etapas del Metabolismo.   | 78  |
| 1.3.6.3. Metamorfosis.   | 80  |
| 1.3.6.4. Simbiosis.  | 83  |
| 1.3.7. Otras Analogías biológicas.   | 86  |
| 1.3.7.1. Zoomorfismo.  | 86  |
| 1.3.7.2. Estructura y Bioantropomorfismo.  | 91  |
| 1.3.7.3. Zoomorfismo Simbólico.  | 97  |
| 1.3.7.4. Función.  | 102 |
| 1.3.7.5. Biomorfismo.  | 106 |
| <b>CONCLUSIÓN.</b>   | 116 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>SEGUNDA PARTE</b>  | 118 |
| <b>2. Genética como analogía.</b>   | 119 |
| 2.1. Antecedentes. De la cadena genética a la ingeniería genética.                            | 120 |
| 2.2. Sobre la analogía genética en computación.   | 125 |
| 2.2.1. Computación y representación evolutiva.  | 125 |
| 2.2.2. Algoritmos evolutivos.   | 127 |
| 2.3. Sobre la analogía y simulación genética en arquitectura.                                 | 133 |
| 2.3.1. La analogía del “Folding – unfolding” en arquitectura.                                 | 134 |
| 2.3.1.1. Rebstock Park, Peter Eisenman.   | 135 |
| 2.3.2. La analogía del código genético.   | 139 |
| 2.3.3. La analogía genética a través de procesos morfológicos.                                | 141 |
| 2.3.3.1. Analogía de la deformación. Anamorfosis, familias y linajes.                         | 141 |
| 2.3.3.1.1. Las deformaciones en la obra de Enric Miralles.                                    | 146 |
| 2.3.3.1.2. Las deformaciones a través del diseño paramétrico.                                 | 148 |
| 2.3.4. La analogía de la combinación, mutación y aleatorización a través de medios digitales. | 151 |
| 2.3.4.1. Arquitectura evolutiva: John Frazer.   | 152 |
| 2.3.4.2. Espacio genético: Karl S. Chu.   | 156 |
| 2.3.4.3. Representación evolutiva: John Torshen.  | 159 |
| 2.3.4.4. Otras formas de interpretar la analogía evolutiva en arquitectura.                   | 164 |
| 2.3.4.5. Otros métodos de representación en computación evolutiva.                            | 166 |
| 2.3.4.5.1. Autómatas celulares.   | 167 |
| 2.3.4.5.2. Autómatas Celulares en arquitectura.   | 171 |
| 2.3.4.5.3. Sistemas L.  | 172 |
| 2.3.4.5.4. Sistema L en arquitectura.   | 174 |
| 2.3.4.5.5. Gramáticas formales.   | 177 |
| <b>CONCLUSIÓN</b>   | 180 |

|  |         |
|--|---------|
| <b>TERCERA PARTE.</b>  | 182     |
| <b>3. Hacia un espacio genético en arquitectura.</b>   | 183     |
| 3.1. Análisis de la calidad espacial.  | 185     |
| 3.1.1. Capacidades curativas del espacio construido.   | 185     |
| 3.1.2. Percepción del espacio.   | 189     |
| 3.1.3. Aspectos neurológicos en el comportamiento humano.  | 190     |
| 3.1.3.1. El cerebro es una estructura dinámica.  | 192     |
| 3.1.4. Efectos de las formas en la psique humana.  | 199     |
| 3.1.4.1. Ansiedad y calma.   | 199     |
| 3.1.4.2. Rascacielos y el miedo.   | 204     |
| 3.1.4.3. Antigraedad y ansiedad.   | 205     |
| 3.1.4.4. Sonido como un componente de estrés ambiental.  | 214     |
| 3.1.5. Patrones como códigos.  | 216     |
| 3.1.5.1. Códigos utilizados para crear vida.   | 216     |
| 3.1.5.2. Biofilia y teoría restaurativa.   | 218     |
| 3.1.5.2.1. Ocho puntos sobre el efecto Biofílico.  | 221     |
| 3.1.5.2.2. Teoría restaurativa.  | 229     |
| 3.1.5.2.3. La atención plena.  | 230     |
| 3.1.5.3. Fractales.  | 234     |
| 3.1.5.3.1. Beneficio de la afinidad con los fractales.   | 234     |
| Macrocosmos - Microcosmos.   |         |
| 3.1.5.3.3. Reducción del estrés a través de los fractales.   | 243     |
| 3.1.5.4. Escala.   | 253     |
| 3.1.5.5. La influencia de la luz en la salud y la función humanas.                                     | 257     |
| 3.1.5.6. Tecnología que apoya la investigación de los efectos del espacio en el comportamiento humano. | 261     |
| <br><b>CONCLUSIÓN.</b>   | <br>264 |
| Sobre la correcta interpretación.  |         |
| Técnica con un propósito.  |         |
| Intencionalidad versus accidente en el proceso de morfológico.   |         |
| Fascinación con la forma creada.   |         |
| Apuntes sobre el uso de algoritmos genéticos o evolutivos.   |         |
| Sobre la aleatoriedad en los algoritmos evolutivos.  |         |

Hacia una correcta aproximación de los programas de diseño  
emergente.  
Redefiniendo el proceso.

|               |     |
|---------------|-----|
| Referencias.  | 284 |
| Anexos.       | 294 |
| Bibliografía. | 330 |

## Introducción

En la actualidad, el hombre moderno vive en un mundo mental alternativo en el que las creaciones humanas, están simplemente alejadas de la naturaleza; y esta tendencia crece cada día más debido al progresivo desarrollo de las nuevas tecnologías. Apuntar hacia un espacio más humano, el reconectar con la naturaleza y los sistemas más orgánicos de evolución, enmarcan un conjunto de patrones que serían imprescindibles a tener en cuenta en el momento de plantear un diseño. El poder reorientar la arquitectura llevándola de un mundo gobernado por los medios de información estáticos, reorientar el diseño hacia sistemas de mayor complejidad (tal como funcionan los sistemas naturales) es el interés de esta tesis.

Los arquitectos del pasado, instintivamente construyeron siguiendo estas reglas orgánicas y naturales que creaban coherencia, ritmo y escala. Creaciones que aunque más tradicionales, estaban tratando de elevar al ser humano llevándolo a conectar con algo que va más allá de la experiencia cotidiana.

Los seres humanos estamos biológicamente predispuestos a la necesidad de conectar con las formas naturales. Es necesario ponernos en contacto con la naturaleza y la compleja geometría de sus formas, de la misma manera en que necesitamos el alimento y el aire para subsistir (Kellert y Wilson, 1993)

Durante milenios los seres humanos han tratado de conectar con una realidad más sagrada a través de la arquitectura. 10.000 AD, la cultura India en uno de sus muchos tratados científicos “Vāstu Śāstra” ya hablaba de cómo crear espacios que buscaran elevar al hombre a su máxima expresión.

*“vāstu śāstram pravakśyāmi lokānām hita kamyayā”*

“Expongo la técnica del Vāstu Śāstra para el bienestar de los seres humanos y el cumplimiento de sus deseos”

*brhat samhita*

En palabras del Neurócientífico Thomas Albright, miembro del ANFA (Academia de Neurociencia para la Arquitectura) En su ponencia “*Vastu veda in the age of Neuroscience: Some brain – based principles for the design of human environments*”.

*“El Vastu Veda fue escrito para promover y mejorar los conocimientos relevantes a una mayor comprensión sobre la respuesta humana al medio ambiente construido”.* (Albright, 2010)

Todas las culturas tradicionales han construido espacios sagrados en los que se experimenta un alto grado de conexión hacia lo trascendental. Los espacios sagrados nutren a quienes los ocupan. Los amantes de la naturaleza pueden disfrutar de una trascendente comunión con ella. Las religiones antiguas explican este misterio sagrado como una comunión con la naturaleza.

Los seres humanos se involucran emocionalmente con el entorno construido a través de las formas arquitectónicas y las tipologías de las arquitecturas tradicionales y vernáculas que están basadas en formas orgánicas. Por lo tanto esta interacción se convierte para nosotros en un alimento neurológico.

Teniendo en cuenta la manera en que nos relacionamos con nuestro entorno y utilizando conscientemente este mecanismo de intercambio de información, podríamos volver a crear espacios que nos eleven al mismo grado de conexión. De esta manera lograríamos edificios que nos proporcionen un alto nivel de alimento neurológico, lo que conllevaría a generar procesos curativos en nosotros.

Al imponer un significado artificial en el entorno construido, los arquitectos contemporáneos contradicen los procesos físicos y naturales, creando así edificios y ciudades que son inhumanas tanto en su forma como en la escala y la construcción. Se debe hacer un esfuerzo para volver a conectar a los seres humanos con los edificios, los lugares que habitan, sus raíces y su cultura.

La mayoría de los arquitectos de todo el mundo, sueñan con una nueva arquitectura que puedan utilizar para ayudarles a optimizar las limitaciones que se les presentan en sus proyectos. También desean ampliar sus horizontes con infinitas posibilidades. Nuevas formas, nuevas ideas y nuevos conceptos. Esto es lo que mantiene a la arquitectura en constante movimiento y avance,

es lo que mantiene a los arquitectos emocionalmente vivos. La novedad es más estimulante cuando se puede aplicar a la propia práctica cotidiana.

En la práctica de la arquitectura actual, los aspectos más trascendentales del ser humano se pierden. Esto se fue perdiendo en la medida en que las aplicaciones científicas y tecnológicas empezaron a influenciar el quehacer arquitectónico. La fascinación con la ciencia, sus procesos, la técnica y la facilidad de crear nuevas formas, han sido uno de los puntos hacia los que puede apuntar este detrimento de la calidad del espacio construido.

Las revistas de arquitectura están llenas de imágenes pseudo-orgánicas (resultado de la ingenua interpretación de los gráficos computacionales), mientras que en realidad los edificios con un aspecto más corriente, están más adaptados a la sensibilidad humana. Por ejemplo, hacer una copia gigante de un organismo (molusco) cangrejo, ameba, o ciempiés es todavía un concepto abstracto respecto a lo que un edificio comporta.

En las últimas décadas se ha visto un frenesí de construcciones de estructuras inhumanas (museos, galerías de arte, escuelas, hospitales, bibliotecas, edificios gubernamentales, monumentos y entornos urbanos etc.) en un deseo de adaptarse a una moda de arquitectura contemporánea.

Estos despachos de arquitectos basados en las investigaciones científicas de vanguardia, utilizan palabras tales como fractales, teoría

emergente, complejidad, aleatoriedad, genética etc. Pretenden ofrecer una variedad de urbanismo sostenible. El común de la población se siente atraída por esta falsa promesa, ya que no pueden diferenciar entre la ciencia real o solo la idea de ciencia.

Tomamos ideas a trozos (como analogía o metáfora), la ciencia avanza dentro de su lógica y especificidad. Los “softwares” matemáticos generan gráficos que expresan de manera tridimensional el flujo de los sistemas. Si alguien ingenuamente logró ver una forma arquitectónica en estos espacios ha malinterpretado el proceso. Es la finalidad de esta tesis, recordar que en medio de estos avances tecnológico, la naturaleza, lo tradicional y lo más humano, no puede ser obviados en este proceso.

## **Finalidad de la tesis**

Esta tesis tiene como finalidad, el investigar la calidad del espacio diseñado y construido a través de medios digitales, analizando si esta analogía científica aplicada a los procesos de diseño arquitectónico afecta de manera positiva al comportamiento de los seres humanos, y de cómo la calidad espacial nos lleva a vivir el bienestar y la expansión como seres humanos hacia una experiencia trascendental.

Pretende recopilar los aspectos que enriquecen a un proyecto arquitectónico y le elevan a la categoría de espacio curativo. Analizando la influencia de los espacios y formas que afectan la psique humana tanto positiva como negativamente, ya sean las composiciones que limitan llevando a los seres humanos a la ansiedad y el estrés como los elementos de diseño que enriquecen y nutren el proyecto arquitectónico. Pretende dar luz a la interpretación de las técnicas evolutivas que han sido utilizadas para reemplazar el diseño tradicional.

**PRIMERA PARTE**  
*Sobre la imitación de la naturaleza.*

## 1. Antecedentes

*“The structure of life I have described in buildings -- the structure which I believe to be objective -- is deeply and inextricably connected with the human person, and with the innermost nature of human feeling. In this fourth volume I shall approach this topic of the inner feeling in a building, where there is a kind of personal thickness -- a source, or ground, something almost occult -- in which we find that the ultimate questions of architecture and art concern some connection of incalculable depth, between the made work (building, painting, ornament, street) and the inner "I" which each of us experiences.”*

*Christopher Alexander (1)*

La Naturaleza misma es el diseñador por excelencia. Hablando metafóricamente, cada especie puede verse como el resultado de un proceso de diseño. Tanto en una escala global como a nivel particular, resultando modelos que funcionan con una matemática precisión en cualquier medio en el que interactúen. Llevando este análisis al aspecto estético, la gran variedad de formas y colores que ofrece resulta infinita, y es tal vez por esta supuesta armonía y belleza que artistas y arquitectos les han querido plasmar o copiar, ya sea metafóricamente considerando la arquitectura como un lenguaje, sea analógicamente siguiendo los sistemas implícitos en ella, miméticamente haciendo copias de ella misma o simulando sus propios procesos. Son precisamente estos cuatro conceptos los que se ven directamente involucrados en la inspiración de las formas y procesos de la naturaleza en el proceso de

diseño, en el proceso creativo tanto en el arte como en la arquitectura y son conceptos con los que nos iremos encontrando en los siguientes capítulos.

El interés por la naturaleza como mimesis en arquitectura, se remonta a los orígenes de la antigua Grecia, apreciando en los organismos naturales, el equilibrio perfectamente establecido. Vitruvio en su tratado *“De architectura libri X”*, (46 – 30 A.c.) en donde trata los órdenes arquitectónicos (Libros III IV), introdujo la relación armónica entre las partes del cuerpo humano y la proporción en el diseño arquitectónico; reeditada durante el renacimiento ofreció a artistas y arquitectos una nueva visión del estado del arte, viéndose además un gran interés por los órdenes clásicos y la arquitectura Greco-Latina. *“De architectura”* no puede enmarcarse dentro de la escritura tradicional de tratados retóricos sobre las artes liberales (*ars liberalis*), pero si puede verse más como una serie de tratados didácticos, o poemas con un carácter más enciclopédico.

Vitruvio, haciendo referencia a la arquitectura sagrada afirmó: *“ningún templo puede presentar una razón en las composiciones sin la simetría y la proporción, al modo como hay una exacta razón en los miembros de un hombre bien formado:*

*Si la naturaleza ha hecho el cuerpo humano de tal manera que sus miembros en sus proporciones se correspondan con su figura como un todo, los*

*antiguos parecen haber determinado con razón que también en la ejecución de los edificios, estos deben poseer una mesurabilidad exacta, basada en el uso de un módulo que contribuya al aspecto de la forma en su conjunto.” (2)*

Sobre la retórica y tratados de discusión metodológica, encontramos sus orígenes en Sócrates y en el trabajo de Platón, más exactamente en “*El Fedro*” que es básicamente un tratado sobre discusión retórica.

En “*El Fedro*”, haciendo referencia a los métodos originados en Sócrates, Platón explica el paralelo entre la medicina y la retórica, ya que ambas tenían como objetivo el análisis de la naturaleza (*physis*). Afirmando que el orador necesitaba conocer la naturaleza del alma, así como el doctor necesitaba conocer la naturaleza del cuerpo. Por lo tanto los principios del arte en cuestión deberían ser formulados, basándose en la definición de su naturaleza. Los objetos debían ser analizados y divididos en partes y finalmente las causas y efectos de estas partes deberían ser establecidas:

*“¿No es así como debemos proceder en las reflexiones que hagamos sobre la naturaleza de cada cosa? Lo primero que debemos examinar, es el objeto que nos proponemos y que queremos hacer conocer a los demás, si es simple ó compuesto; después, si es simple, cuáles son sus propiedades, cómo y sobre qué cosas obra, y de qué manera puede ser afectado; si es compuesto, contaremos las partes que puedan distinguirse, y sobre cada una de ellas*

*haremos el mismo examen que hubiésemos hecho sobre el objeto reducido a la unidad, para determinar así todas las propiedades activas y pasivas...” (3)*

En el contexto retórico o poético, Platón en “*El Fedro*”, hace referencia a Sócrates quien compara la estructura de la oratoria con un ser humano:

*“Por lo menos me concederás, que todo discurso debe, como un ser vivo, tener un cuerpo que le sea propio, cabeza y pies y medio y extremos exactamente proporcionados entre sí y en exacta relación con el conjunto.” (4)*

Aristóteles dividió las artes y las ciencias dentro de las artes universales (Dialéctica, analítica y teórica) y las ciencias las cuales se pueden subdividir dentro de dos categorías, ciencias teóricas, ciencias prácticas y ciencias productivas o artes poéticas. Para las ciencias teóricas su principal objetivo fue el conocimiento (Matemáticas, física y metafísica) en las ciencias prácticas su principal objetivo fue actuar (Ej. Ciencias políticas) y por último el objetivo principal de las ciencias productivas y artes poéticas fue hacer cosas (Pintura, poesía, música, medicina, retórica y arquitectura). Mientras que la ciencia daba respuestas sobre la esencia y propiedades de los seres y objetos, las artes explicaban los procesos de producción y acción. De este modo Aristóteles afirmaba en “*The art of Rhetoric*”:

*“It is possible to examine the reason why some attain their end by familiarity and others by chance; and such an examination and examination all would at once admit to be the function of an art (techne).” (5)*

En *Metaphysics*, él define el arte de la siguiente manera:

*“Now art (techne) arises when from many notions gained by experience one universal judgment about a class of object is produced....Experience is knowledge of individuals, art of universals, and actions and productions are all concerned with the individual....But yet we think that Knowledge and understanding belong to art rather than to experience...; and we suppose artists to be wiser than men of experience...; and this because the former know the cause, but the later do not...Hence we think also that the master-workers in each craft are more honourable and know in a truer sense than the manual workers, because they know the cause of the things that are done. And in general it is the sign that the man who knows and of the man who does not know, that the former can teach, and therefore we think art more truly knowledge than experience is; for artist can teach, and men of mere experience cannot.” (6)*

Un concepto retórico como puede ser *Concinnitas*, o la idea de unidad orgánica, fue introducida durante el renacimiento por Leon Battista Alberti (1404 – 1472) en su intento por una nueva reformulación de la teoría de las artes visuales y la arquitectura, las cuales tuvieron una gran repercusión no solo en el renacimiento sino además en la metodología teórica del siglo XIX. Algunos teóricos como Krauthemier, John Onians etc. Afirman que Alberti baso su tratado *“De re aedificatoria”* en el tratado de Vitruvio *“De architectura”*, mientras que otros como Joseph Rykwert, Richard Tobin, Veronica Biermann y

Caroline Van Eyck afirman que Alberti se basó en la idea de proponer un número de modelos basados en la retórica. En los libros I – III de *“De re aedificatoria”*, Alberti hace referencia a la naturaleza, analizando las causas y los efectos de la belleza en la arquitectura y la belleza en contra del ornamento. Sobre los factores que determinan a un objeto arquitectónico como bello Alberti trata en el libro VI a través de una investigación histórica sobre los estilos de la arquitectura griega y asiática estableciendo así diferencias en número, orden y organización:

*“El placer que se encuentra en objetos de gran belleza y ornamentación se produce ya sea por la invención y el trabajo del intelecto, o por la mano del artesano, o está imbuido naturalmente en los objetos mismos. El intelecto es responsable de la elección, distribución, ordenación, etc., que dan dignidad al trabajo; la mano se encarga de colocar, unir, cortar, recortar, pulir, etc., que le dan gracia a la obra; las propiedades derivadas de la Naturaleza son el peso, semejanza, densidad, pureza, durabilidad y afines, que traen admiración a la obra. Estos tres deben aplicarse a cada parte del edificio, según su respectivo uso y función.” (7)*

La discusión de la relación entre la arquitectura y la naturaleza, puede considerarse que es la culminación del tratado de Alberti, el cual está dedicado a la definición de la belleza arquitectónica con el término de *Concinnitas*. Desde la visión de Alberti se puede considerar que el término *Concinnitas* es el tema principal que define la relación entre arquitectura y

naturaleza. *Conccinitas* es un término retórico, usado por Cicerón para caracterizar un estilo que encajaba perfectamente, que estaba elegantemente unido, que reflejaba perfectamente la unión de las partes y por lo tanto bello y elegante. Otra traducción del término podría ser la de armonioso.

Con referencia a *Conccinitas* Alberti cita a los análisis que los griegos hicieron de la naturaleza:

*“Al igual que con otras artes, así con la construcción, (los griegos) la buscaron y la sacaron del seno mismo de la Naturaleza. ... Realizaron todo tipo de experimentos, inspeccionando y volviendo sobre los pasos de la naturaleza. Mezclando igual con desigual, recto con curvo, luz con sombra, consideraron si podría surgir una tercera combinación, a partir de la unión de lo masculino y lo femenino, que los ayudaría a lograr su objetivo original. Continuaron considerando cada parte individual con el más mínimo detalle, como la derecha concordaba con la izquierda, vertical con horizontal, cerca con lejos. Agregaron, quitaron y ajustaron de mayor a menor, de igual a diferente, del primero al último, hasta que establecieron las diferentes cualidades deseables en aquellos edificios destinados a perdurar por siglos, y aquellos construidos sin ninguna razón tanto como su buen aspecto. Este fue su logro.” (8)*

Alberti enfatizó el hecho de imitar la naturaleza al igual que los antepasados lo hicieron, llamó a esta el artista supremo o el hacedor por excelencia. Con referencia a la naturaleza afirma que uno de sus métodos era variar el aspecto de sus formas de acuerdo a su propósito, haciéndolas más

fuertes o más frágiles. Demostró esta teoría citando los órdenes griegos, y en la forma en que estos seguían los preceptos de la naturaleza los cuales fueron los maestros en la construcción de ornamentos.

La visión de la naturaleza para Alberti no fue exclusivamente desde un punto de vista matemático en referencia a proporciones; en “*De re aedificatoria*” en donde la relación entre arquitectura y naturaleza era discutida. Aquí se logra ver que Alberti estaba interesado en otros aspectos de la naturaleza que no eran precisamente los matemáticos.

Términos como *Concinnitas*, oposición, variedad y capacidad fueron usados por Alberti para describir un modelo arquitectónico basado en la naturaleza:

*“Todos estos cuatro términos tienen orígenes y significados retóricos definidos; el cuarto, ‘aptitud’ también tiene una connotación aristotélica. El primero de estos términos, Concinnitas, es una categoría reguladora y unificadora, ya que se refiere a la unidad bien entrelazada y hábil que resulta de la reconciliación de formas opuestas y variadas. Esta unidad se basa en su idoneidad o adaptación a un propósito: la naturaleza, el artífice supremo, procede de acuerdo con un plan y un propósito. Cicerón utilizó el término para describir una combinación elegante y un ajuste de palabras y cláusulas en períodos.” (9)*

Un paralelo entre arquitectura y agricultura puede verse en el trabajo de Isidore de Sevilla, *Etymologiae*, Libro XV:

*“Book XV is devoted to architecture and agriculture (De aedificiis and agris) and consists of a classification of building types, a discussion of urban architecture based on the kino-aesthetic model, and etymologies:” (10)*

## 1.1. Ciencia y arquitectura.

La historia nos muestra que la metáfora, las analogías, la mimesis y la simulación tienen su base en la esfera intelectual que ha predominado en cada época. Hasta aquí vemos que las ideas concebidas por la naturaleza avanzaban en la medida de los descubrimientos científicos de la época. Es imprescindible de igual modo dejar claro que la genética como ciencia, se estableció a principios del siglo XX, precedida de etapas claves en su desarrollo como lo fueron los experimentos de Gregor Mendel, los estudios citológicos de la célula, el descubrimiento del cromosoma, el papel del descubrimiento del ARNm. Conviene hacer esta aclaración, ya que las analogías con la genética en arquitectura, florecieron después del descubrimiento de la estructura del ADN por James Watson y Francis Crick en 1953.

Antes de esta fecha, los conceptos que se manejaban como analogía en arquitectura, hacían referencia a la herencia, a la clasificación y a la evolución de las especies. Estando esta última relacionada con los trabajos de clasificación y sistematización de los organismos vivos llevados a cabo por Georges Louis Leclerc, Comte de Buffon.

Carl von Linné (llamado el padre de la taxonomía) desarrolló sus investigaciones en el número y arreglo de los órganos reproductores, sus

últimas investigaciones se realizaron sobre casos de cruzamientos entre géneros y sugirió que, quizás, pudiesen originarse nuevos géneros por medio de la hibridación.

¿Pero cuál era el estado de la ciencia en paralelo a la analogía en el arte y la arquitectura? En el siglo XIV aún no existían leyes de la naturaleza, el concepto de reproducción no aparece formalmente hasta finales del siglo XVIII:

*Anteriormente los seres no se reproducían: eran engendrados. La generación es siempre el resultado de una creación que, en una etapa u otra, exige la intervención directa de las fuerzas divinas...Una vez creados, los futuros seres pueden ya esperar la hora de su nacimiento al abrigo de cualquier fantasía e irregularidad. Pero hasta el siglo XVII la formación de un ser está sometida directamente a la voluntad del creador. No tiene raíces en el pasado. (11)*

Desde la antigüedad hasta el renacimiento, el cambio sobre los conceptos relacionados con el mundo vivo, apenas sufrió un cambio. Aristóteles, Hipócrates y Galeno, pensaban que cada cuerpo, cada planta, cada animal estaban compuestos de materia y forma. En el siglo XVI, Fernel considera que cuando algo es creado tiene como base la forma:

*“Lo que sitúa la forma en la materia, para crear astros, piedras o seres, es la naturaleza. Pero esta no es más que un agente ejecutivo, un principio que actúa bajo el dictado de Dios. Cuando vemos una iglesia o una estatua, sabemos*

*perfectamente que en algún lugar existe o ha existido un arquitecto o escultor que las ha creado. Igualmente, un río, un árbol o un ave deben haber sido creados por un Poder Supremo, una inteligencia que, tras decidir hacer un mundo, lo ordena, lo mantiene y lo dirige constantemente.” (12)*

La vida de los seres vivos, la sustentaban en la teoría del calor, como motor activo de todas las especies. La teoría de la transformación del calor fue uno de los métodos por excelencia utilizados por los alquimistas, la generación en el siglo XVI, fue explicada gracias a esta teoría. Fernel dice al respecto:

*“Reconocemos a nuestro amigo’, dice Fernel, ‘Pese a que esté sin vida y el calor lo haya abandonado. El calor innato lo ha dejado.’ Todos los seres vivos están impregnados de este calor; incluso ‘la serpiente, aunque su temperamento sea frío’, lo mismo que ‘la mandrágora y la amapola y todas las hierbas de temperamento frío’.” (13)*

La teoría de la preformación y la preexistencia son las únicas teorías posibles que pueden explicar la generación:

*“Dado que Harvey sitúa su famoso “Omnia ex ovo” en el epígrafe de su tratado de generación animal, se le atribuye con frecuencia la paternidad de la idea de que todo ser vivo proviene a fin de cuentas de un huevo, pero el Ovum no es únicamente el huevo.” (14)*

*“Tenemos, pues, huevos en las hembras y animáculos en los machos. Esto debe ser suficiente para producir la complejidad de un animal”. (15)*

Del siglo XVI al XVII surge un cambio abismal en los orígenes de la ciencia. Después de dejar todas las causas y razones de ser de los seres vivos y la naturaleza a la voluntad divina. El discurso se basa ahora en el discurso del hombre, analizar objetos, combinarlos y deducir su orden. Aparece el signo como elemento imprescindible en el intento de descifrar la naturaleza. Surge el lenguaje de símbolos para esta reflexión y de ellos el más perfecto y evidente el sistema de las matemáticas. Galileo y Newton presentan sus teorías, la física y las matemáticas son la única respuesta para establecer un orden en el mundo.

Hasta mediados del siglo XIX, los seres vivos eran objetos de observación, pero nunca se intentó alterar su orden natural para realizar un análisis. Tanto para Darwin como para Cuvier era la naturaleza la que hacía los experimentos. En junio de 1859, Charles Darwin presenta su teoría sobre el origen de las especies y nueve años más tarde Gregor Mendel presenta sus trabajos sobre la herencia. La herencia siempre fue un trabajo reservado para horticultores y criadores, y durante siglos se habían acumulado observaciones al respecto. Fue precisamente durante el siglo XIX cuando se prestó el verdadero interés por la genética, sobre todo por el nuevo enfoque que presentaba Mendel en su método de investigación; esto da un giro completo a

las investigaciones realizadas sobre la herencia y abre camino al nacimiento de una nueva rama de la ciencia, la Genética:

*“Con Mendel, los fenómenos de la biología adquieren de golpe el rigor de las matemáticas. La metodología, el tratamiento estadístico y la representación simbólica confieren a la herencia toda una lógica interna...Lo que Darwin llamaba ‘pangénesis’ en tiempos de Mendel, no se alejaba mucho de lo que ya imaginaron Hipócrates y Aristóteles en la antigüedad o Maupertuis y Buffon en el siglo anterior. Según la ‘pangénesis’, cada fragmento del cuerpo, cada célula, producía un pequeño germen de sí mismo, o ‘gemula’, que se instalaba en las células germinales con la misión de reproducir este fragmento en la generación siguiente.” (16)*

Los siguientes descubrimientos en el campo de la ciencia lograron fortalecer las bases de lo que hoy es conocido como Ingeniería Genética, se descubrió el cromosoma, las enzimas, las moléculas, los microorganismos etc. y por último la estructura del ADN, que es el tema principal en este trabajo de tesis. Así como anteriormente explicábamos, que la retórica de la antigüedad se vio reflejada en los tratados y en el pensamiento artístico, los avances científicos también, en cierta forma influenciaron al pensamiento artístico de cada época vale la pena remarcar que arquitectos o teóricos se vieron influenciados por ellos.

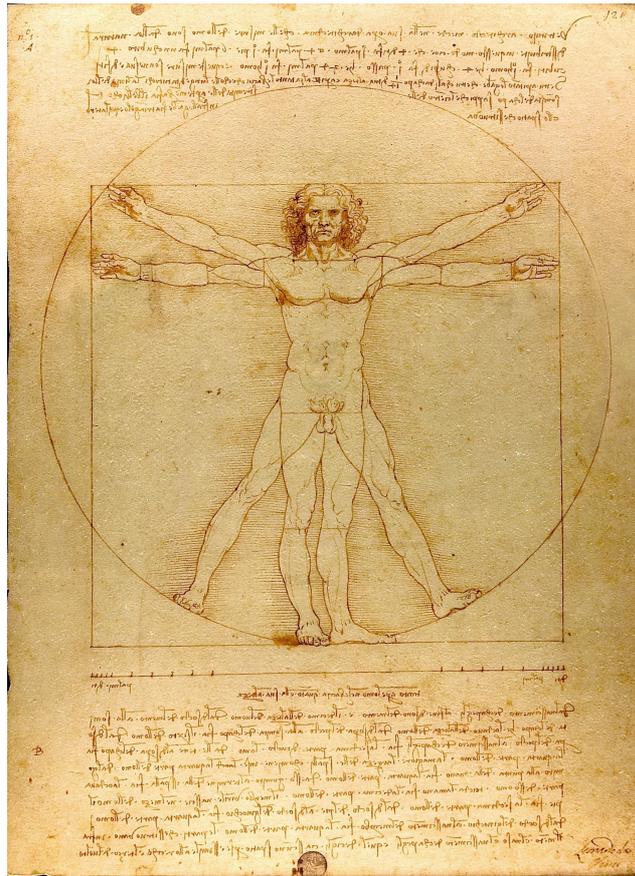


Fig. 1, el hombre de Vitruvio. Estudio de las proporciones ideales del cuerpo humano realizado por Leonardo Da Vinci. 1490.

La imitación de la naturaleza propugnada por Vitruvio hacía acento en el cuerpo humano y sus proporciones. La unidad proporcional y la correspondencia con las partes del cuerpo humano recibieron el nombre de “*homo quadratus*”. Lo podemos ver en la ilustración clásica del hombre de Vitruvio hecha por Leonardo da Vinci, en la que se representaba el cuerpo de un hombre cuya extensión de manos y pies encajaba en un cuadrado y un círculo, los cuales eran considerados como las figuras geométricas más perfectas (consideradas como símbolo de la Deidad). Esta fue según Vitruvio

una unidad ideal, es decir una unidad modular, una parte del cuerpo como el pie o el antebrazo servía de unidad básica de la que todas las dimensiones eran partes o múltiplos.

La retórica fue de gran importancia en la teoría arquitectónica, ya que le dio la posibilidad de utilizar estrategias con las cuales la arquitectura podría imitar la naturaleza, y además le aportó los conceptos que podrían ser utilizados para reflejar esta imitación. La retórica permitió a Vitruvio elevar el estatus de la arquitectura de un arte mecánico al de “*ars liberalis*”.

El tratado de Vitruvio “*De architectura*”, fue el único tratado de arquitectura escrito en la antigüedad clásica, sirvió de base para muchos arquitectos desde la antigüedad hasta el renacimiento. Así como Leon Battista Alberti, Andrea Palladio fue un gran seguidor de las ideas propuestas por Vitruvio, tanto la antigüedad como la imitación de la naturaleza son temas inextricablemente tratados en todos sus trabajos. En su obra “*Quattro Libri*”, Palladio provee textos que marcan un gran énfasis en la imitación de la naturaleza y las obras clásicas arquitectónicas. Palladio contribuyó en la publicación del libro “*Della Eloquenza*” de Daniele Bárbaro. En estos diálogos, Bárbaro expone la teoría Aristotélica de la operación de la mente y las pasiones en un contexto retórico, marcando énfasis en la imitación y en la

relación entre naturaleza y arte. Aunque “*Della Eloquenza*” fue publicado en 1557, un año antes que la traducción del libro de Vitruvio, el impacto de este dejó huella en el pensamiento de Palladio:

*“Si la relación entre la naturaleza y el arte fue, ante todo, un precepto clásico, también fue una potente piedra de toque para Palladio, ocupando un lugar importante en su teoría de la buena arquitectura. No solo comparó columnas con árboles en el libro I, sino que también afirmó que los toros y escocias de la base columnar reflejaban el peso soportado por su eje. En el Libro II, comparó las casas con cuerpos en los que se exhibían los rasgos más atractivos y los más innobles estaban ocultos a la vista; al hablar de puentes de piedra en el Libro III, Palladio aconsejó que deberían tener un número par de soportes porque nunca se encuentran animales con un número impar de patas.” (17)*

Podemos ver que el énfasis analógico con la naturaleza hasta este momento era de carácter antropomórfico, estaba más relacionado con la unidad y proporcionalidad del ser humano en algunos casos, debido al estado de la ciencia en este periodo en el que el ser humano era un elemento del cual solo se podía definir una estructura en términos generales, con una visión externa y dependiendo de las leyes divinas. Algunas analogías tanto en el arte como en la arquitectura estaban directamente relacionadas con este hecho. Plantear un edificio viéndolo como un cuerpo humano con cabeza tronco y extremidades no deja de ser una imitación de las reglas de la naturaleza. No es

sino hasta el siglo XVIII, en donde el despertar científico amplió el concepto del hombre desligándolo de la dependencia divina, que el ser humano pasó de ser una caja negra a ser una estructura independiente y con innumerables mecanismos y sistemas en su interior.

En el trabajo del arquitecto Jean-Nicolas-Louis Durand (1760 - 1834) podemos ver ciertas analogías con la naturaleza desde el punto de vista de la clasificación y la taxonomía, en referencia a “*Recueil et Parallele des Edifices*” (1801) podemos ver que Durand agrupa las plantas de gran número de edificios históricos de acuerdo con sus funciones generales (teatros, estadios, mercados, etc., todos ellos dibujados en la misma escala) y de igual manera a como se disponen los especímenes en la obra de historia natural o la geología. Durand en su sistema compositivo, establece ejes principales y secundarios en el edificio en torno a los que se disponen en un trazado simétrico (los elementos o células) del mismo. Este método está estrechamente relacionado con las reglas de Rene Just Hauy (1743 - 1822) para la formación de cristales, o con el sistema transformativo de Johann Wolfgang von Goethe (1749 - 1832) para la generación de todas las plantas a partir de una planta arquetípica.

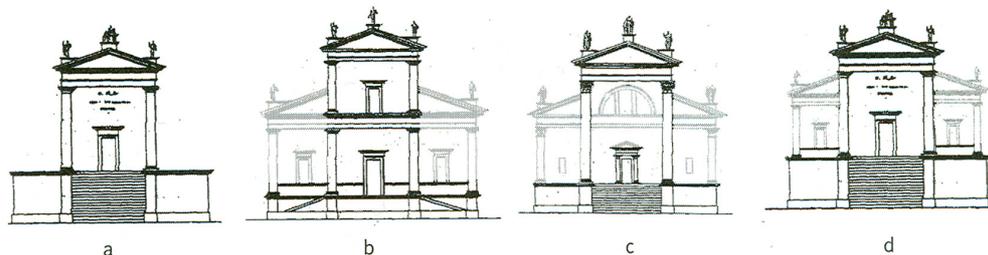
El trabajo de Durand puede en cierta forma clasificarse dentro de una línea taxonómica, ya que en la mayoría de los ejemplos sean tanto en plantas como en alzados presenta una tendencia a la clasificación de estos.

Sobre la biología de la reproducción, George Hersey en su libro “*The Monumental Impulse (1999)*”, retoma comparaciones y estudios realizados por historiadores del arte como por ejemplo Hans Sedlmayr (1930) quien compara la obra de Durand con las investigaciones realizadas por el monje y biólogo Gregor Mendel, sobre experimentos de cruzamientos con guisantes. Al respecto podría decir que esta afirmación sería válida en el caso de que temporalmente Durand y Mendel hubiesen coincidido, pero Durand Muere justo cuando Mendel ronda la edad de 12 años.

Es cierto que antes de Mendel existieron trabajos relacionados con la herencia, pero este término hizo su aparición justo después de las investigaciones del monje. Sobre naturalistas que realizaron trabajos relacionados con la herencia podemos citar al matemático y filósofo Pierre Louis Maupertuis y al naturalista Georges-Louis Leclerc Comte de Bufon, sus trabajos revelaron ciertas intenciones, pero al ser realizados entre animales no surtieron ningún efecto, tal vez la idea de crear una quimera fue su motivo.

Sobre las variaciones en alzados de Durand Hersey afirma:

*“Nor would it require much effort to reshuffle these eminently shufffeable elements two possible aisle facades, two possible doors, two possible tympana into still other variations, as in (d). In the new variant, which is my own creation, I have combined the high basement os (a), the wings of (b), and the frontispiece o (c). Durand’s (and my own) shuffling of traits resembles Gregor Mendel’s mid nineteenth century manipulation of pea plants. That, we recall, had invoved “particulate” inheritance as opposed to the “blending” kind. In other words, a trait either reappears intact in the individual offspring or it doesn’t reappear at all. But in Mendel as in Durand, the combinations of these traits are independent of the combinations found in the parent or parents.” (18)*



*Fig. 2 a, b, c, d, estudio de variación sobre posibles alzados. D propuesta de Hersey.*

El trabajo de Durand presenta un gran interés para esta tesis, en el sentido de buscar trazos que en el pasado pudieron relacionar el uso de algoritmos genéticos en el proceso de diseño arquitectónico. A simple vista puede resultar absurda la comparación, ya que los medios técnicos pueden resultar dispares, pero es precisamente en la posibilidad de crear

combinaciones a partir de unos modelos básicos, lo que resulta muy similar al uso de estas nuevas tecnologías.

Hersey propone además, un principio, al que denomina Principio “Poggioreale” (basados en un edificio de planta cuadrada localizado en la villa *Poggioreale* en Milán):

*“This Poggioreale principle, as I call it, has a multitude of progeny, with ramifications forward and back (i.e., siblings, cousins, and ancestors), and well beyond the West.” (George Hersey: The Monumental Impulse, 1999)*

Respecto a este principio, Hersey cita uno de los trabajos de Durand en el que realiza variaciones sobre un cuadrado, un paralelogramo y las combinaciones con un círculo, obteniendo así una matriz de posibles edificios:

*“Durand's pool of further possible plans (fig. 2) suggests many more plays with the Poggioreale principle-plays not only with a basic square rationally subdivided into quarter squares and half squares (the plans on the left) but also with circles, semicircles, and circle-and-square Compounds derived from the same initial matrix”. (Hersey, 1999).*

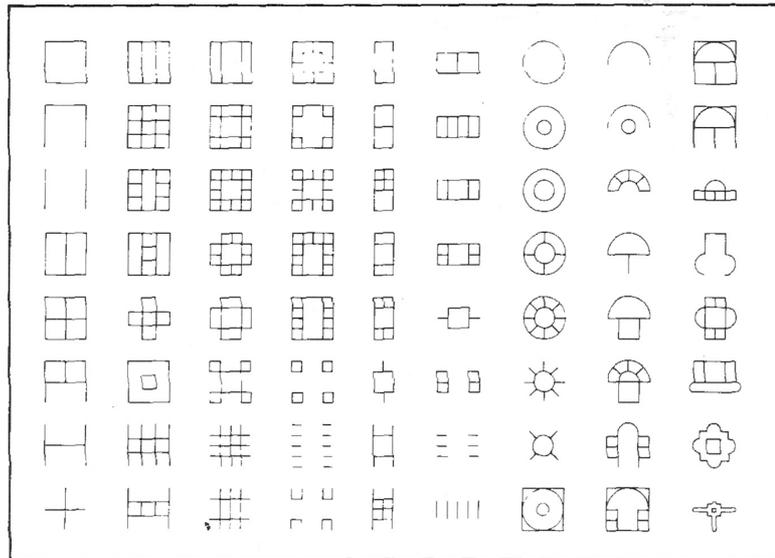


Fig 3. J. N. L. Durand, conjunto de edificios resultantes de la división de cuadrado, paralelogramo y de sus combinaciones con el círculo.

Como otro ejemplo, Hersey cita el trabajo del historiador del arte Hans Sedlmayr (1930), donde este aplica conocimientos derivados de la biología de cromosomas a la arquitectura de Borromini.

*“First, Sedlmayr compares four versions of the developing plan of San Caria alle Quattro Fontane with three of its presumed architectural models or forebears (fig. 3, top row). He reproduces the plans as shown, in what he refers to as a "genetic" format. I will accept his implications; namely, that Vignola's plan, of an oval church crossed symmetrically by four embrasures, is reflected in the Borromini plan below it; that the compound-curved Greek cross from Hadrian's Villa is similarly "reproduced" in the Borromini plan below it; and that the Borromini plan labelled as the fifth scheme for San Caria (fig. 4, bottom row, extreme right) can be seen as an oval version of San Lorenzo's inner colonnade”. (George Hersey: The Monumental Impulse, página 160. 1999)*

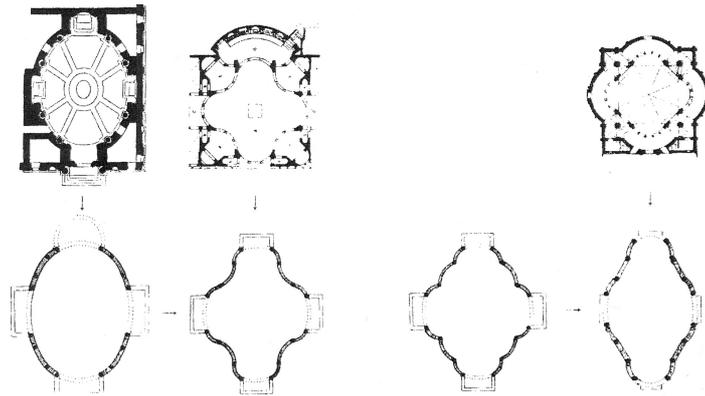


Fig. 4. Fila superior, de izquierda a derecha: Vignola, Sant'Anna dei Palafrenieri; villa Adriana; San Lorenzo, Milán. Fila inferior de izquierda a derecha: Borromini: segunda, tercera, cuarta y quinta planta para San Carlo alle Quattro Fontane.

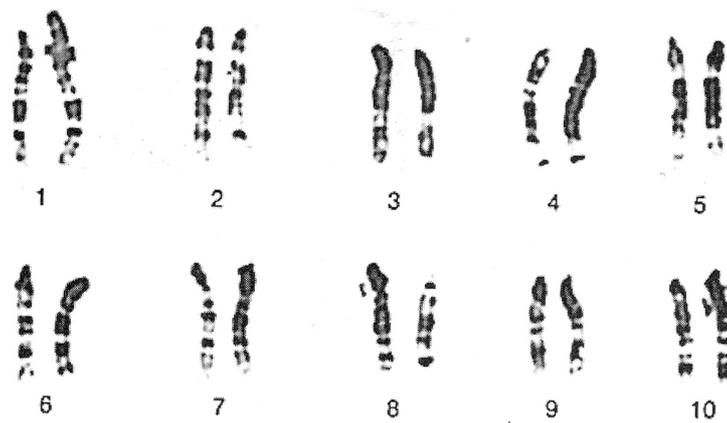


Fig. 5. Los primeros 10 pares de cromosomas de un ratón, utilizados por Sedlmayr para sus estudios.

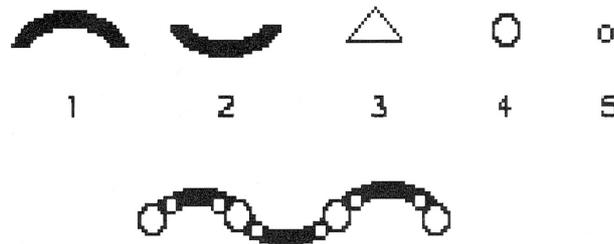


Fig. 6. Genes identificados por Sedlmayr, en el Análisis de las plantas de Borromini. En *The monumental Impulse*, George Hersey:

## 1.2. Imitatio Naturae - Simulación visual

Según Aristóteles, la única meta del arte era imitar la realidad (*Senneca*). Desde su punto de vista, la mimesis no significaba simplemente la fiel imitación de algo en el sentido de copia. Sin embargo, este amplió el término de la “*imitatio*” a la categoría de “*posible*” o “*probable*”. Su punto de vista estaba completamente opuesto al de su maestro Platón, quien consideraba arte meramente la “*representación de una apariencia*” (*Platón La república*). Para él, la imagen en sí misma era objeto de una Ilusión engañosa de la representación, siendo solo reflejos, no objetos reales. (*Platón La república*). (19)

Al respecto, Platón diferenció dos tipos de mimesis, *mimesis eikastiké* como la fiel copia de la realidad y *mimesis phantastiké*, como la representación engañosa de la realidad (*Platón “El Sofista”*; *Platón: “La república”*). Pese a la definición Platónica sobre mimesis, el pensamiento Aristotélico ha tenido gran influencia sobre el discurso teórico desde el renacimiento hasta hoy día. Siendo así el concepto de mimesis o imitación de la naturaleza de la teoría Aristotélica, considerado como una de las primeras manifestaciones de la inspiración en la naturaleza. (20)

La simulación visual en arquitectura, (viéndose solo desde el punto de vista de la representación visual), más que otra forma de representación, se

apoya en el principio de imitación de la naturaleza. En la última década del renacimiento, el arte se dedicó fervientemente a representar la realidad lo más fielmente posible. Un prerequisite para esto fue el entendimiento del cambio que sufrió la representación pictórica de los pintores italianos durante la edad media. Los pintores del siglo XIV, empezando con Giotto di Bondone (1276/75? 1337) y sus sucesores, fueron quienes descubrieron la Tridimensionalidad en la pintura. Experimentadas las imágenes por el observador ya no resultaron ser un objeto autónomo y lejano a la realidad, sino por el contrario, este cambio en la representación le trajo a la pintura la posibilidad de ser una ventana o un pasaje a la realidad.

El descubrimiento de la perspectiva cónica, fue quizás uno de los descubrimientos más importantes durante el renacimiento y aparte de ser un elemento clave durante de la pintura renacentista, fue también un requerimiento para una verdadera representación de la realidad. El arquitecto, escultor y orfebre Italiano Florentino Filippo Brunelleschi (1377 1446) fue su descubridor y queda demostrado en dos de sus experimentos visuales llevados a cabo en el Baptisterio y Palazzo Vecchio en Florencia (1410 1420).

### **1.3. Analogía orgánica**

Uno de los principios más esparcidos del pensamiento occidental, filosófico y artístico de la antigüedad clásica a finales del siglo XIX fue la noción de que las artes, inclusive la arquitectura, deberían imitar la naturaleza. El objetivo nunca fue el de crear una fiel copia de la naturaleza, sino el de crear la ilusión de que la vida era insuflada en la obra de arte, por el artista quien a su vez se fijaba más en imitar los procesos, leyes y métodos de la naturaleza.

#### **1.3.1. Antecedentes del Organicismo**

Se puede decir que Los orígenes del organicismo, provienen de la teoría artística clásica, del renacimiento y sobre todo de la retórica. La cual influenció fuertemente a la teoría arquitectónica de finales del siglo XIX. El organicismo estaba basado en la convicción (generalmente usada en la teoría artística desde la antigüedad hasta finales del siglo XIX) de que el arte debía imitar a la naturaleza, más no el de producir copias de esta, por lo tanto se llegó a la romántica idea de crear la ilusión de la vida. Transmitiendo todas las características de la naturaleza viva a lo que el hombre pudiese producir, intentando llevar a cabo la idea de metamorfosis pasando de la materia muerta hacia un organismo vivo.

Los avances técnicos de la época en muy poco pudieron haber ayudado a realizar esta idea, he aquí la gran importancia de la retórica y del pensamiento filosófico de la época, ya que muchos artistas, con la ayuda de la metáfora pudieron manifestar sus ideas. Hablando de la arquitectura como si se tratase de un organismo vivo, compartiendo sus cualidades de unidad y crecimiento y más aun pudiendo copiar sus métodos. Arquitectos como Schinkel, Sullivan y teóricos como Kugler y Coleridge se sabe de ellos que eran asiduos lectores de filosofía, algo que dejó una huella en sus trabajos.

Karl Friedrich Schinkel, (Neuruppin, Prussia 1781; Berlín, Alemania 1841) arquitecto y pintor alemán; usó extensivas metáforas sobre la forma y el crecimiento orgánico, no solo para representar los procesos mecánicos que se desarrollaban en los edificios, sino también para mostrar (comprobar) el sentido de la vida y el movimiento en la arquitectura gótica.

El Museo de Oxford, diseñado por Benjamín Woodward, terminado en 1861, es uno de los casos de intención organicista. Aquí el arquitecto, bajo la influencia de Ruskin, intentó representar en la piedra y el acero la variedad y belleza de la naturaleza:

*“Los pilares a lado y lado del corredor pueden enseñarnos geología, y el follaje de acero de la luz de la cubierta podría enseñarnos Botánica.” (21)*



*Fig. 7 vista del Museo de Oxford, Arquitecto Benjamín Woodward y T. N. Deane 1854-60*

El motivo más frecuente dentro del organicismo, fue la convicción de que la arquitectura debía imitar los métodos más que las formas de la naturaleza, esto con la finalidad de crear la idea de vida. Esta idea fue muy generalizada durante el siglo XIX, por arquitectos como Viollet-le-Duc, Ruskin, Semper, Botticher, Root y Sullivan.

El grupo de arquitectos franceses conocidos como los “*Romantic Pensionnaires*” Jean y Léonce Reynaud, Hippolyte Fortoul, Duban, Labrouste, Duc y Vaudoyer entre otros, que estuvo activo alrededor de 1830, usó las teorías comparativas de la anatomía formuladas por Cuvier, con la intención de hacer explícita su visión sobre la importancia de la naturaleza en la arquitectura. La visita de Gottfried Semper a, “*Le Jardin des Plantes*” en París, fue una de las experiencias más cruciales de su vida, ya que visitó la colección

de fósiles, organizada y supervisada por el mismo Cuvier. Bajo la influencia de esta visita, Semper intentó formular una tipología de formas arquitectónicas similares a la comparación anatómica que había hecho Cuvier. Quedando claro el hecho de la influencia de como la metodología científica, podía resultarle un arma valiosa en lo concerniente al proceso de diseño arquitectónico, y además pudo servirle como ayuda en la interpretación de la historia de la arquitectura y diseño del nuevo estilo.

Dentro del organicismo se entiende que existieron dos líneas, basadas en la inquietud por acercar la conexión entre la arquitectura y la naturaleza viva. La naturaleza en este tipo de analogías era ampliamente entendida. Podía ser la totalidad de las cosas y de seres creados por Dios, más no por el hombre, creciendo estas y desarrollándose bajo leyes y métodos definidos, los cuales el hombre debía esforzarse en seguir.

La primera de las variedades está marcada por el concernimiento de una estrecha relación entre el arte y la naturaleza viva, expresada por una imitación de sus métodos en la construcción de ornamentos. La segunda gran variedad, estaba mucho más restringida hacia la unidad orgánica; su intención era lograr en los trabajos de arte una correspondencia y una correlación entre

las partes y el todo, el cual era modelado desde una relación funcional de las partes de la misma manera que en los organismos vivos.

El organicismo fue presentado como un movimiento de oposición que estaba en contra del racionalismo, pensado este; como la tendencia de mecanizar la arquitectura. El organicismo, además, fue relacionado con la irracionalidad, el romanticismo y un resurgimiento del gótico “*The Gothic Revival*”.

### **1.3.2. La retórica y la poética como influencia en el organicismo.**

Buscando los orígenes del organicismo en la teoría artística del renacimiento, es importante distinguir cuidadosamente los términos Retórica y Poética. La retórica se concentraba en la persuasión y su propósito fue instruir o moderar todos los movimientos de la audiencia. Esto como primera medida concerniente a todos los efectos del discurso, o el arte en público, la cuales fueron formuladas por Aristoteles, Ciceron y Quintilianus. La imitación de la naturaleza y el resultado de la ilusión de la vida es una de las más importantes vías de hacer un discurso persuasivo y con movimiento.

La poética por el otro lado, trataba de una composición literaria, y aquí es donde encontramos la doctrina de la mimesis, que es la imitación artística (idealizada) de la naturaleza. Anexándole a esta distinción una ayuda al entendimiento del desarrollo en el carácter de la teoría arquitectónica del renacimiento; un cambio de vista retórico de la arquitectura como un arte cívico, el cual pretendía llevar al espectador a través de la representación de virtudes cívicas, hacia una expresión más metafísica de la arquitectura, por el uso de la proporción modular de la filosofía del renacimiento, y de la analogía entre el microcosmos y el macrocosmos.

Alberti escribió en su *“De re aedificatoria”* 1452:

*“Así como la cabeza, el pie, y ciertamente cualquier miembro debe corresponder cada uno a todo el resto del cuerpo del animal, también en un edificio y especialmente en un templo, las partes de todo el cuerpo deben ser compuestas para que correspondan las unas a las otras, y que cualquiera individualmente pueda proveer las dimensiones del resto.”*(22)

Cuando las comparaciones o analogías entre la arquitectura y la naturaleza empiezan a ser un hecho en la teoría arquitectónica, son muy semejantes a las comparaciones retóricas o poéticas; ya que enfatizan también en la importancia de la correlación de las partes y el todo. Vitruvio, por ejemplo escribe acerca de la arquitectura sagrada: “ningún templo puede tener una composición sistemática (no razonada) sin simetría y sin proporción, a menos que tenga una relación (proporción) precisamente determinada de los miembros como los de un cuerpo humano bien formado”.

La retórica fue de gran importancia en la teoría arquitectónica, porque hizo posibles las estrategias por las cuales la arquitectura podría imitar a la naturaleza, y los conceptos que se podrían utilizar para reflejarse en tal imitación. También, la retórica permitió a autores como Vitruvio elevar la posición de la Arquitectura; llevándola de ser un arte mecánico hacia el de un *“ars liberalis”*.

La convicción de que la arquitectura es una ciencia, y que cada parte de un edificio, tanto dentro como fuera, tiene que ser integrado en uno y en el mismo sistema de proporciones matemáticas; puede ser este, el axioma básico de los arquitectos del renacimiento. El arquitecto de ninguna manera era libre de aplicar a un edificio un sistema de proporciones de su propio parecer. Las proporciones tenían que conformarse bajo las concepciones de un orden más elevado; y un edificio debía reflejar las proporciones del cuerpo humano. Una afirmación de Vitruvio que llegó a ser universalmente aceptada fue la siguiente: *“Cuando el hombre es la imagen de Dios, las proporciones de su cuerpo son producidas por una divinidad, así que las proporciones en la arquitectura tienen que expresar este orden cósmico”*.

Cuando damos una mirada a pasajes en *“De re aedificatoria”* de Alberti, en donde se discute la relación entre la arquitectura y la naturaleza, se puede ver claramente que Alberti estaba también interesado en otros aspectos, que no eran solo matemáticos. Por ejemplo, él reconoce la similitud entre edificios y seres vivos, tanto en su salud como en la adaptación a las tareas que ellos debían realizar; y además enfatiza que los edificios son como seres vivos, lo que a nivel práctico en la construcción significaría que debemos imitar los métodos de la naturaleza, por ejemplo en la manera en que los huesos y la carne se tejen juntos.

### 1.3.3. Organicismo científico.

Se puede decir que el organicismo en la arquitectura adquirió un carácter claramente científico, por la influencia de dos grandes procesos en el campo científico, uno de ellos fue el impulso a la facilitación de medios para las investigaciones sobre la anatomía relativa y la taxonomía zoológica que se habían empezado a desarrollar ya desde el renacimiento; esto conjuntamente con la Inauguración del Muséum d'Histoire Naturelle de París en 1773.

El segundo proceso fue el debate entre los biólogos franceses Georges Cuvier y Sant-Hilaire de Geoffroy en 1830. Este debate atrajo la atención de lectores y escritores a través de Europa, e influyó también la manera en la que los arquitectos concebían la relación entre la arquitectura y la naturaleza viva. Se puede ver el impacto del debate, y especialmente las ideas de Cuvier sobre la clasificación del reino animal; viéndose estas reflejadas en el trabajo de un grupo de arquitectos que fueron influenciados por los avances en las ciencias biológicas; los cuales compartían una misma intención para definir una teoría del diseño, como también una teoría del significado arquitectónico desde una versión científica del organicismo.

Un resumen del debate de Cuvier-Geoffroy:

*“Los asuntos metafísicos y teológicos en juego en el debate fueron formulados claramente por un estudiante de Cuvier, Louis Agassiz, al referirse a la clasificación de Cuvier sobre el reino animal en cuatro clases: Este resultado es de suma importancia en lo que puede aparecer al principio. Sobre la pregunta, de si todas las clasificaciones representan las impresiones y las opiniones meramente individuales de los hombres, o si hay realmente algo en la naturaleza que define sobre nosotros ciertas divisiones entre animales... fundado sobre los principios esenciales de la organización. ¿Es nuestro sistema la invención de los naturalistas, o solo su lectura del libro de la naturaleza?.. Si estas clasificaciones no son meras invenciones... entonces ellos son los pensamientos que, si nosotros los discernimos o no, son expresados en la naturaleza, entonces la naturaleza es el trabajo del pensamiento, la producción de la inteligencia, llevada a cabo según un plan, por lo tanto premeditado y en nuestro estudio de objetos naturales nosotros nos acercamos a los pensamientos del creador... interpretando un sistema que es suyo y no nuestro.*

*El concepto central de la biología de Cuvier era el de 'las condiciones de existencia': las condiciones que son necesarias para la sobre vivencia y la reproducción de un animal. Su ejemplo favorito era el del carnívoro: 'si debía sobrevivir, necesitó dientes y garras agudos, y un estómago capaz de digerir carne'. En el enfoque teleológico de Cuvier sobre la naturaleza, la consideración que predomina es la funcionalidad integrada basada en las*

*condiciones de la existencia del organismo: se basa implícitamente en la creencia de que Dios había dotado a sus criaturas solo con los órganos que necesitasen para su supervivencia y multiplicación. De ahí, que las necesidades funcionales son consideraciones más importantes que las estructurales: Cuvier razonó, por ejemplo que los mamíferos tienen la respiración pulmonar porque ellos necesitan más energía que los peces, no porque su anatomía tenga que conformarse a un patrón general. Como resultado, no hay órganos superfluos, desde que cada parte contribuye a la integridad funcional del todo. Las partes no existen aisladas, pero son modificadas por los cambios que afectan las otras partes:*

*‘Cada ser organizado forma un total, un único y cerrado sistema, cuyas partes se corresponden mutuamente y está de acuerdo a la misma acción definida por la reacción recíproca. Ninguna de sus partes puede cambiar si las otras no lo hacen; y consecuentemente cada una de ellas tomada separadamente, indica y determina todas las demás’. Esta convicción es la base del famoso postulado de Cuvier en el que decía que él era capaz de reconstruir un animal completo desde un solo hueso.” (23)*

El conflicto entre Cuvier y Geoffroy se podría resumir en términos de una oposición entre un enfoque analítico basado en la mera observación y la colección empírica de hechos; y en contraposición, un método sintético y deductivo apuntando no en colecciones de hechos pero sí en el reconocimiento de patrones o planes ideales (los diseños de Dios). Geoffroy

transformó las nociones tradicionales todavía mantenidas en el siglo XVIII sobre la unidad de la naturaleza y el concepto de la “gran cadena de seres”; en su hipótesis morfológica sobre la unidad en la composición orgánica, basada en la búsqueda de homologías por medio de la anatomía relativa. Por otra parte, Cuvier hizo una reinterpretación de la teoría Aristotélica de las causas finales en los términos de funcionalidad, integridad y las condiciones de la existencia. Él defendió la conveniencia de estos conceptos enfatizando el carácter empírico de su método, basado exclusivamente en la colección objetiva de hechos y en una abstención de la teorización. Para ambos, estos elementos contribuyeron mucho en la transformación del organicismo desde un pensamiento filosófico y religioso, basado en nociones Aristotélicas de la unidad intencional; hacia una visión científica de la conexión entre la arquitectura y la naturaleza viva, en la que la funcionalidad era la similitud más importante.

El efecto de estas formulaciones no fue limitado solo a la comunidad científica, en ellos se interesaron autores como Michelet, Goethe y Balzac, y un sin número de arquitectos. Entre estos últimos, el grupo de arquitectos conocidos como los “*Romantic Pensionnaires*” fueron testigos de esta controversia y a la vez influenciados por algunos de sus temas. Aunque la importancia de este grupo para la historia del pensamiento organicista en la

arquitectura del siglo XIX no se haya tomado en cuenta lo suficiente, la mejor ilustración del nuevo carácter desde su punto de vista fue una observación hecha por Vaudoier (1803-1872), acerca de la interpretación del organicismo de las catedrales Góticas como una arquitectura de árboles:

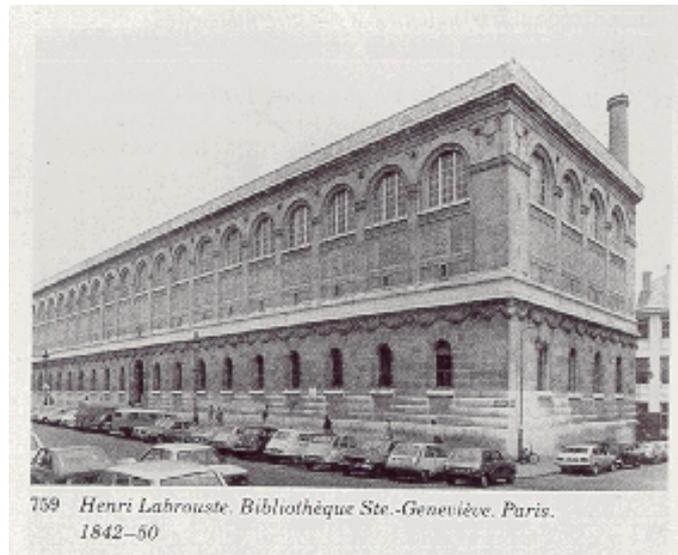
*“...en cuanto a los que quieren acercarse a la cuestión de una manera más poética, y ver las esbeltas construcciones de las hermosas catedrales Góticas, solo la imitación de bosques septentrionales con sus árboles antiquísimos y sus ramas entrelazadas, contestaremos a ello que, incluso si uno no pudiese negarse a reconocer una cierta analogía, es porque las mismas condiciones de ser de la existencia son necesarias al trabajo del hombre como al de la naturaleza, uno debe proceder en la construcción siguiendo las leyes de la naturaleza, para tener postes verticales y conectarlos a sus ramas y costillas con la finalidad de reunirlos’.* (24)

La interpretación organicista de la arquitectura Gótica como una arquitectura de árboles es vista desde un “*enfoque poético*”, que apunta hacia esta analogía. En vez de un enfoque metafórico que hace una similitud visual y externa entre las formas de los árboles y catedrales, Vaudoier presenta un análisis en el que no se limita a una analogía meramente superficial. Pero sí apunta hacia la búsqueda de un principio científico fundamental, común al trabajo de la naturaleza y del hombre. Vaudoier utilizó el concepto central de Cuvier para formular este principio:

*“las condiciones de la existencia que determina la integridad funcional de un edificio son las mismas que en los organismos naturales”. (25)*

Muy parecido al Planteado por D’arcy Thompson en *“On growth on form”*, 1917 donde afirma:

*“que algunos de las mejores estructuras logradas por el hombre se ven también en la naturaleza, por la sencilla razón de que tanto el edificio como el organismo deben responder a las mismas fuerzas físicas.” (26)*

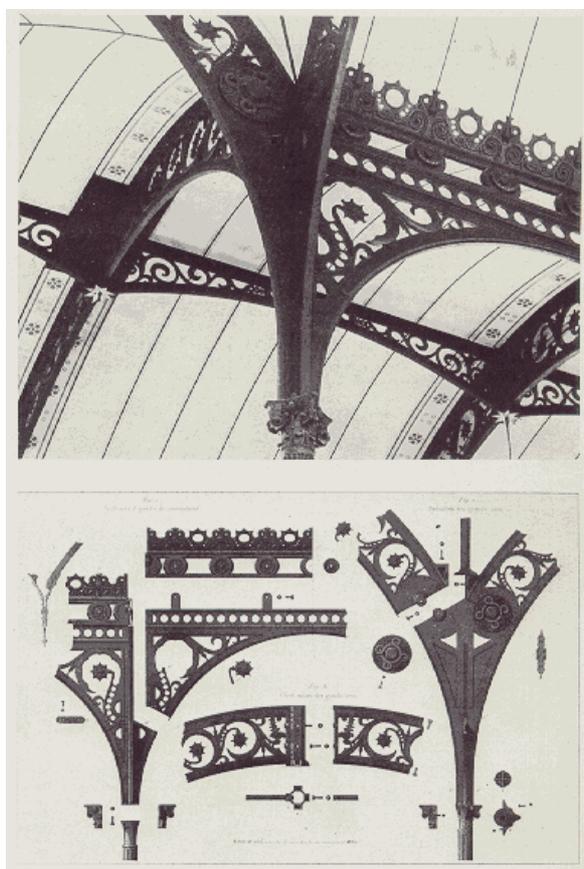


*Fig. 8 Vista de la fachada de la Bibliothèque Sainte-Geneviève en París, (1843–50), Henri Labrouste.*

Uno de los grandes ejemplos arquitectónicos realizados en esta época es La fachada de la Bibliothèque Sainte-Geneviève en París 1843 - 50. Construida por el arquitecto Henri Labrouste. Una de las líneas de los *“Romantic Pensionnaires”* fue la concepción de la arquitectura como la piedra *“el esqueleto”*

de las instituciones humanas y su historia, y está plasmada en una serie de inscripciones en fila que están en la fachada:

*“una lista aparentemente interminable de artistas y científicos que ilustra el progreso del monoteísmo a la ciencia. La biblioteca así se presenta como un almacén de aprender y un monumento al progreso científico.” (27)*



*Fig. 9 Detalle de las columnas y capiteles ubicadas en la sala de lectura de la Bibliothèque Sainte-Geneviève Paris (1843–50), Henri Labrouste*

Con referencia a las columnas y a la ornamentación desarrollada por Labrouste en la Biblioteca, Glendali Rodríguez expresa:

*“Labrouste investiga dos soluciones fundamentales de la relación entre ornamento y construcción. Por una parte, él tiende a conservar la geometría regular de las barras, y para concentrar la ornamentación libre en puntos particulares, con un carácter siempre botánico. Por otro lado, él experimenta con un tipo de ornamento botánico de carácter Bizantino, con una geometría capaz de suceder la geometría regular de las barras a la solución definitiva. Los grupos toman una configuración espiral, con las hojas que forman las barras aproximadamente verticales que alterna con espirales, reemplazando la estructura geométrica de los círculos colocándolos dentro de cuadrados.” (28)*

*“En la parte superior de las paredes del vestíbulo entre las pilastras contra las paredes se representa una vegetación densa; el color del techo es el del cielo. El vestíbulo y su estructura llegan a ser una metáfora de un jardín de flores con árboles.” (29)*

Gottfried Semper: (Hamburgo, 1803-Roma, 1879) arquitecto y teórico alemán. Destacado exponente del historicismo ecléctico, fue profesor de la Academia de Dresde y director de la sección de arquitectura de la Escuela Politécnica de Zurich. En su obra cabe destacar el teatro de la Ópera y la Pinacoteca, en Dresde; y, en Viena, el Burgtheater y los museos de Historia del Arte y de Historia Natural, de un clasicismo más académico.

Semper Influenciado Igualmente por el debate Cuvier-Geoffroy, conectó inmediatamente estas hipótesis con otra de sus constantes

preocupaciones: el desarrollo de una teoría del diseño a la que él llamó, un problema de Topica, el desarrollo de un estilo:

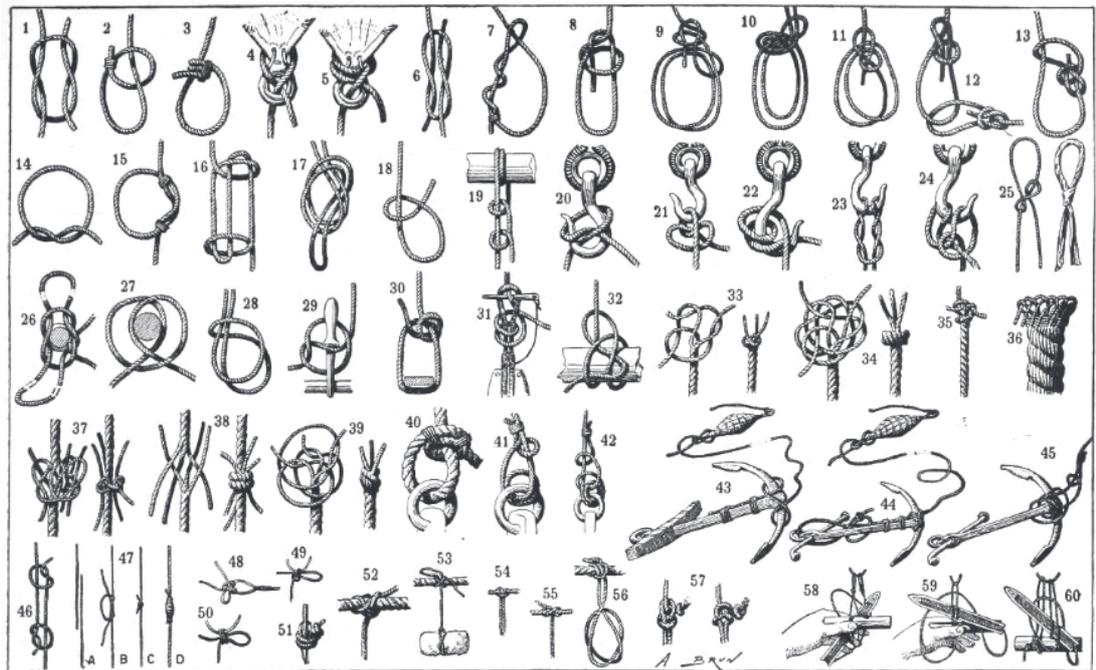
*“Podría ser importante designar algunos de estos tipos fundamentales de formas artísticas, para seguir su progreso gradual... Tal método, semejante al seguido por Barón Cuvier, cuando aplicando al arte y especialmente a la arquitectura, ayudaría por lo menos a ganar una inspección clara del campo entero y quizás aún la base de una teoría del estilo y una clase de Tópica o método de invención, que podría llevarnos a algún conocimiento del proceso natural de la invención”. (30)*

Uno de los elementos del pensamiento de Semper en relación con la arquitectura y naturaleza que mantuvo a lo largo de su vida, está contenido en el concepto la cáscara de nuez.

Semper además propuso formular una teoría pura de la arquitectura (*reine de eine Baulehre*), que tendría una posición intermedia entre la estética de la arquitectura y un tratado técnico. Tal teoría se concentra en el entendimiento de las leyes que regulan el desarrollo de las formas arquitectónicas; basado en hechos observables siendo estos más concretos que en la mayoría de las artes estéticas; considerando el arte de construir un todo, no meramente un ornamento.

Analizando la influencia que ejerció Cuvier sobre Semper se puede comparar de la siguiente manera: En el caso de Cuvier, los agentes del cambio son localizados en la integridad funcional del organismo, porque son adaptados a su ambiente y de ahí cumplen las condiciones de la existencia ordenada por el Creador. En el caso de Semper, las modificaciones de los motivos básicos son causadas por el material, propósito, período, clima o el carácter del principal. Para, ambos la interacción entre materia y función se utiliza para explicar las modificaciones, y de ahí relacionar todas las variedades de formas básicas.

Aunque el mismo Semper escribiera que fue en gran medida inspirado por el método del Barón Cuvier, existen diferencias muy importantes. Cuvier siempre se resistió a la noción de la descendencia: él demostró la existencia de la especie extinta en su reconstrucción paleontológica, pero no creyó en la noción del desarrollo histórico conforme a las líneas de descendencia. Semper, sin embargo, y especialmente posterior a la lectura del “Origen de las especies” de Darwin, tuvo la convicción de que *“el mundo de forma artística evolucionó a partir de un número limitado de tipos originales según las leyes de herencia y adaptación”*(31), Clara influencia Darwinista.



Nœuds : 1. Plat. — 2. De bouline simple. — 3. De bouline double. — 4. D'écoute simple. — 5. D'écoute double. — 6. De varhe ou d'ajut. — 7. D'anguille ou de bois. — 8. De chaîne simple. — 9 et 10. De chaîne double. — 11. De chaîne de calfat. — 12. D'agui. — 13. Laguis. — 14. Demi-nœud. — 15. Demi-nœud bridé. — 16. De jambe de chien. — 17. A plein pouce ou de bec d'oiseau. — 18. Demi-clef. — 19. Tour mort avec demi-clef. — 20. De griffe. — 21. De griffe double. — 22. De croc de palan. — 23. Gousset de rase. — 24. Gousset de loup. — 25. De cravate. — 26. De capelage. — 27. Demi-clef à capeler. — 28. Demi-clefs renversées. — 29. D'étréouillon. — 30. De drisse ou de bâteleur. — 31. De drisse anglaise. — 32. De drisse de bonnette. — 33. Cul de porc simple. — 34. Cul de porc double. — 35. Tête de mort. — 36. Tête d'alouette. — 37. De hauban simple. — 38. De hauban double. — 39. De ride. — 40. D'élingure de câble. — 41. D'élingure de grelin. — 42. D'élingure de cablot ou nœud de grappin. — 43. D'orin. — 44. D'orin de petite ancre. — 45. D'empennoyage. — 46. De pêcheur. — 47. De pêcheur (A, position des brins à réunir; B, nœud libre; C, nœud serré; D, nœud sur crin). — 48. Demi-clef sur empennoyage métallique. — 49 et 50. Clef pour fixer la ligne sur l'empile à boucle en crin de Florence. — 51. Attache d'une empennoyage métallique à l'extrémité d'une ligne fixe. — 52. D'empile sur une hauffe. — 53. Croix d'attache et de cablière. — 54. De l'empile à boucle. — 55. Croix d'empile sur la hauffe. — 56. Croix d'artificier pour les cablières. — 57. Du pêcheur pour attacher une boucle d'empile à l'extrémité d'une ligne fixe. — 58. Sur le petit doigt. — 59. Sur le pouce. — 60. Sur le pouce (2<sup>e</sup> temps).

Fig. 10. Nudos. Viendo la analogía con la teoría Darwinista de la Evolución, y de cómo a partir de una simple cuerda podemos tener un sin número de resultados completamente diferente.

### 1.3.3.1. El Organicismo en Norteamérica

Continuando con el desarrollo en la variedad científica del organicismo en Norteamérica se pueden tratar los trabajos de Los arquitectos Eugene-Emmanuel Viollet le Duc, y los de Leopold Eidlitz y John Wellborn Root quienes promulgaron la teoría organicista en los Estados Unidos, el primero de origen europeo aunque con educación americana, y El segundo de origen anglosajón. Incluyo a le Duc en este grupo de arquitectos aunque no perteneció a la época del siglo XIX, ya que sus trabajos han hecho eco en el desarrollo teórico en la arquitectura de este siglo.

Entre los arquitectos americanos quizá uno de los más importantes en desarrollar una teoría estética claramente organicista fue Leopold Eidlitz (1823-1903) quien junto a Richard Morris Hunt fue figura central dentro de la sociedad artística e intelectual Neoyorquina. Durante la década de 1850 a 1860, Leopold Eidlitz publicó en “The Crayon”, una serie de artículos en los que exploraba y contrastaba el pensamiento artístico francés, alemán, inglés y americano; los cuales se convirtieron en la base para la que fue quizá la mayor publicación de Eidlitz, “*The nature and function of art, more especially of architecture*” (Londres 1881). En esta sugirió que los arquitectos deberían estudiar la naturaleza y además imitar sus principios:

*“The exact nature of the... (experience) of works of nature or of fine art may be described as follows: Natural organisms, ... are alive with growth or motion; they visibly express the functions performed by them.... In this way they convey to the mind an expression of these functions, and thus they tell the story of their being. The architect, in imitation of this natural condition of matter, so models his forms that they also tell the story of their functions...” (32)*

Viollet le Duc (1814-1879), fue una figura central durante el movimiento del “*Gothic Revival*”. Aunque el Trabajo de le Duc fue un trabajo más de restauración de Catedrales Góticas, fue un gran teórico y dejó muchas de sus obras expuestas, las cuales influenciaron dramáticamente en la obra de arquitectos como Guimard, Gaudi y Horta entre otros. En sus obras en especial en “*Dictionnaire Raisonné de L’Architecture Française*”, “*Histoire de l’habitation humaine, depuis les temps préhistoriques jusqu’à nos jours*” y su última y mayor publicación, “*Entretiens sur l’architecture*”.

Relacionando la obra de le Duc, con la teoría organicista desarrollada en el siglo XIX, se puede afirmar, que a veces se refería implícitamente a los métodos de Cuvier o Geoffroy, aunque sus trabajos no figuran como papel prominente en los escritos de los “*Romantic Pensionnaires*” o los de Semper. En el trabajo de Viollet le Duc sobre la relación entre la arquitectura y la naturaleza, se puede observar una actitud generalmente más científica, ya que

presenta un análisis basado en tendencias particulares con la comparativa anatómica. Su organicismo es esencialmente científico porque su piedra angular es su visión de la naturaleza y consecuentemente en concordancia con algunas leyes de la geometría y la física, de una manera unificada, sin excepciones o caprichos. Su organicismo da también la impresión de tener un punto de vista fuertemente científico a causa de la frecuencia de términos como la Lógica, la razón, el método, la deducción, el rigor y el sistema. Viollet le Duc, como muchos teóricos del siglo XIX, afirmaba que la arquitectura, al contrario de la pintura o la escultura, no imitaba las formas de la naturaleza. Pero que en cambio, si imitaba sus leyes:

*“Viollet le Duc urged the architect to apply "the natural principles of creation," similar to medieval sculptors who studied plants and animals in order to understand how their forms 'always express a function or submit themselves to the necessities of the organism.' In the same way, medieval masons "sought to bring out in the structures of their buildings those qualities they found in vegetation. Viollet le Duc maintained that the relationship between function and structure was fundamental in medieval architecture, and should be the guiding principle for the modern artist..." (33)*

Viollet le Duc define las leyes de la naturaleza en términos matemáticos, físicos y de funcionalidad, pero principalmente en términos de unidad. Por su concentración en las matemáticas y la física, el organicismo de Viollet le Duc presenta una clara diferenciación con la tradición Aristotélica y teológica cuyo

desarrollo es el que se ha marcado hasta ahora. Violet le Duc recuerda el trabajo de Alberti sobre “*Concinnitas*” reaffirmándolo como la ley principal de la naturaleza.

La filosofía de la historia de Eugène Viollet le Duc, fue una ideología de libertad; procuró demostrar la humanizada y progresiva transformación de la naturaleza hacia un nuevo mundo en armonía con el hombre. Esta transformación de la naturaleza por el hombre según Violet le Duc era un proceso de destrucción y renovación. En sus discusiones sobre estilo, dialéctica y técnica, le Duc afirmaba:

*“The form of a bird’s nest or of a flower is determined by organic principles, governed by both the function of the object and the nature of the material from which it is made. Similarly, products born of primitive cultures always have integrity.”* (34)

Tanto como Schinkel, Semper y Viollet le Duc, Eidlitz no fue un defensor de la noción de que la arquitectura no debe imitar las formas de naturaleza, pero sí defendió el que esta debía seguir sus métodos.

John Wellborn Root (1850-1891): nació en Georgia, realizó sus estudios de arquitectura e Ingeniería en Oxford y Nueva York. Fue a Chicago en 1873 y formó una asociación con Daniel Burnham al lado de quien trabajo en los

diseños y construcción de una de sus más grandes obras, el edificio “Monadnock”, aunque lastimosamente murió antes de su culminación. Root estaba mucho más abierto a los desarrollos europeos sobre arquitectura y ciencia: él publicó las traducciones de Semper en “*The Ireland architect and builder*” recomendó además los tratados de Viollet Le Duc y de Garbett a jóvenes arquitectos, y fue un seguidor de Darwin y Spencer; y compartiendo la misma ideología que muchos otros arquitectos organicistas, afirmó que “*la arquitectura debía imitar no la apariencia externa de la naturaleza, pero si sus métodos o procedimientos*”.

Para Root, el primer método a imitar de la naturaleza es la adherencia al tipo:

*“La naturaleza tiende a conservar la unidad de sus creaciones, eso es, para rehuir los elementos que pertenecen a otro género o u otra especie.” (35)*

Root uso la noción de la adherencia a tipos, conocida como tema central en las teorías tanto de Cuvier como Geoffroy. Geoffroy insistió en la existencia de la unidad estructural de la composición orgánica a través del animal entero y el reino vegetal, mientras Cuvier sin el uso del término tipo, clasificó el reino animal en cuatro categorías basándose en la adaptación del sistema nervioso central como condición de existencia.

En 1873 Louis Sullivan entró a formar parte del despacho de arquitectos de Frank Furness como practicante. Había estudiado arquitectura en el MIT entre 1872 y 1873. La escuela de arquitectura del MIT fue fundada por William Ware Hunt quien fue ayudante de Furness en el despacho de Hunt. Influenciado por Hunt, Ware basó el curriculum del MIT en las mismas enseñanzas de *l'école de Beaux-Arts*. En donde además estudió los escritos de Eidlitz los cuales influenciaron la formación de su arquitectura orgánica. Sus composiciones arquitectónicas estaban claramente influenciadas por la teoría *Romantique*. Más adelante en una carta escrita a Claude Bragdon en 1904, expresó su agradecimiento a la influencia que tuvo de la teoría francesa en su trabajo.

*“because of the teaching of the (French) school ... there entered my mind ... the germ of that law which later, after much observation of nature’s process, I formulated in the phrase, ‘Form follows function.’” (36)*

En concordancia con el método de diseño francés, el proceso de Sullivan iniciaba con una idea. Él concebía el edificio como el material que le daba cuerpo a una idea:

*“an expansive and rhythmic growth, in a building, of a single, germinal impulse or idea, which shall permeate the mass and its every detail with the same spirit.” (37)*

Frank Lloyd Wright (1869 – 1959) fue el asistente principal de Sullivan en el momento en que éste diseñó el edificio Wainwright. Él se imbuyó de las ideas de Sullivan y las aplicó en su propio trabajo; enseñado por Sullivan, Wright definió una composición estructuralmente orgánica, la cual definió claramente en un análisis realizado sobre impresiones japonesas, publicado en 1912:

*“The Word structure is here used to designate an organic form,...a vital whole. So in design, that element which we call its structure is primarily the pure form ...arranged or fashioned and grouped to ‘build’ the idea ...Geometry is the grammar, so to speak , of the form. It is its architectural principle. A Japanese artist grasps form always by reaching underneath for its geometry ...He recognizes and acknowledges geometry as its aesthetic skeleton ...not its structural skeleton alone, but ...the suggestive soul of his work...” (38)*

Influenciado por Sullivan, Wright reconoció que existía una correlación física entre la geometría formal y nuestra asociación de las ideas, lo cual constituye un valor simbólico:

*“A flower is beautiful, we say – but why? Because in its geometry and in its sensuous qualities it is an embodiment and significant expression of that precious something in ourselves which we instinctively know to be life, .... Intuitively we grasp something of it ... the quality in us which is our very life recognizes itself there .... So there vibrates in us a sympathetic chord struck*

*mystically by the flower. Now, as it is with the flower, so is it with any work of art ... because a work of fine art is a blossom of human soul .... In it we find the lineaments of man's thought and the exciting traces of man's feeling..." (39)*

### 1.3.4. Analogía orgánica en la obra de Rudolf Steiner

Steiner aplicó los principios de la formación del mundo natural en el diseño de sus edificios, con la idea de lograr una topología de organismo en el que estuviesen en relación las partes con el todo; cumpliendo con una adaptación armoniosa con el sitio de construcción y que además tuviese una cualidad formal tal que sintonizara con el observador humano. Steiner empleó el principio de la metamorfosis que se pueden ver claramente en la abstracción de las formas ornamentales del edificio y en las plantas arquitectónicas. Relacionó este principio con los estudios de la morfología biológica planteados por Goethe.

Aunque Steiner remarcó en numerosas ocasiones que su obra no estaba relacionada con el organicismo, ni que las formas que empleaba en sus edificios imitaban a ninguna forma orgánica en la naturaleza. Se puede considerar orgánica en el sentido de diálogo con la naturaleza y en el sentido de organismo vivo que sintoniza con todo lo que le rodea. En escritos sobre el primer *Goetheanum* afirma:

*“Everything included in the building, is also in organic union with its whole structural thought” (40)*

Steiner simpatizaba con los conceptos de Goethe sobre la presencia de las leyes de la naturaleza, las cuales regulaban las formas visibles y el crecimiento a través de patrones de todos los organismos vivos. En muchas ocasiones remarcaba una de las frases de Goethe afirmando:

*“Art is a manifestation of the secrets of laws of nature, without which they would never be revealed” (41)*

Como principio del organicismo en la obra de Steiner se pueden citar el interés en armonizar el edificio con el ambiente que le rodeaba. Reflejaba una analogía con el mundo orgánico, de la misma manera que la relación que existe entre la función y la forma en los sistemas naturales. Principio utilizado en la teoría arquitectónica alemana del siglo diecinueve, la cual afirmaba que el edificio debe mostrar una interrelación entre las partes y el todo, al igual que en los organismos vivos, en donde cada forma desarrolla sistemáticamente su relación con el todo y que a la vez está conectada a las demás formas existentes.

Otro aspecto importante en la obra de Steiner fue el concepto de *“Living Wall”*, para él, los muros eran concebidos como superficies esculturales

que crecían fuera de la unidad orgánica del edificio y aunque se mirasen por diferentes ángulos tanto internos como externos. Sus muros eran como superficies continuas que expresaban el juego entre polaridades, cóncavo y convexo, arriba y abajo, derecha izquierda, soporte y peso:

*“The wall is not merely wall, it is living, just like a living organism that allows elevations and depressions to grow out of itself.*

*Our own art of relief must be based upon the conception that the wall is a living thing even as the Earth brings forth her plants.” (42)*



*Fig. 11. Primer Goetheanum, entrada oeste, interior con escalera.*

El principio de la metamorfosis fue planteado primeramente por Goethe como parte de la morfología de las plantas; este estudio le llevó a afirmar que las características de cualquier forma en su secuencia están

siempre ocultas o prefiguradas en una forma previa y que en algún grado, continúa en la forma siguiente. Concepto muy relacionado con la teoría la herencia en las especies. Citando este principio Steiner afirmaba:

*“One can only develop an organic structural thought of the building if one quite inwardly and intuitively grasps the principle of metamorphosis” (43)*

Un último aspecto dentro de la obra de Steiner, ligado a la teoría organicista fue su intención de unificar la ley de la metamorfosis de las formas, la idea holística de la consonancia con todo lo que rodea al edificio y otros principios orgánicos que planteaba Goethe, más aún quiso adaptar el edificio a la psicología humana y expresar en este una apariencia de conciencia orgánica.

*“Our columns and all the forms of architecture and sculpture that belong there have a soul, and that can be felt as an invisible music” (44).*

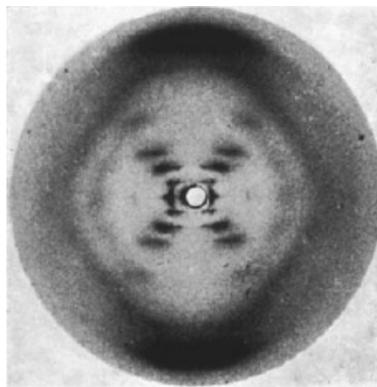


Fig. 12. Primer Goetheanum. Pequeña cúpula y escenario.

### 1.3.5. Descubrimiento de la doble hélice del ADN y la proliferación de la analogía genética

James Watson y Francis Crick, diseñaron el modelo de la hélice del ADN durante la primavera de 1953. Lo presentaron al mundo con el siguiente párrafo:

*“Queremos proponer una estructura para la sal del ácido desoxirribonucleico (ADN). Esta estructura posee rasgos novedosos que encierran un considerable interés biológico”. (45)*



*Fig. 13. Primera Imagen de la estructura del ADN, tomada por Rosalind Franklin con la técnica de rayos x. Franklin sugirió que la estructura del ADN era en forma de hélice. Gracias a esta Watson y Crick pudieron entender y así construir el modelo.*

La clave de la doble hélice es el ajuste tipo rompecabezas entre las bases guanina – citosina y la timina – adenina, dos de ellas, la guanina y la adenina, están compuestas de dos anillos de carbono y nitrógeno unidos.

Pertenecen a la clase de compuestos conocidos como purinas. La citosina y la tiamina no tienen más que un anillo carbono-nitrógeno y reciben el nombre de pirimidinas. Descubierta la estructura del ADN, faltaba descifrar el código. Fue el bioquímico Fred Sanger en el departamento de bioquímica de Cambridge quien inició los pasos para su descubrimiento. A partir de aquí numerosas investigaciones y avances en el campo de la genética se han desarrollado. Aparece la Ingeniería genética, y todas las ramas interesadas tanto en descifrar códigos del ADN como en reconstruirlos. Tal es el caso de los estudios sobre plegamientos de proteínas.

En la década comprendida entre 1965 hasta 1975, los avances en el ámbito de la bioquímica y la genética fueron de carácter computacional, además de ayudar a unificar la biología implicaron una nueva vía para la solución al desdoblamiento de la proteína. Tanto en la biología como en la arquitectura. La clave para el funcionamiento de las propiedades de una molécula depende no solo de las interconexiones de sus componentes químicos, sino además de la forma en que la molécula es configurada y plegada.

Los siguientes avances se dieron en el campo de biología computacional, se dieron por parte de Iván Sutherland y Cyrus Levinthal, este

último el creador del programa CHEMGRAF. Levinthal hizo importantes descubrimientos en el campo de la genética molecular (mecanismos de réplica de ADN, la relación entre genes y proteínas, y la naturaleza del RNA de mensajero). Su trabajo estuvo enfocado en la aplicación computacional de dos tipos de estructuras biológicas. Estas estructuras eran diversas: por una parte el plegamiento de las moléculas de la proteína y por otra la conectividad de la célula en el desarrollo del sistema nervioso. Levinthal fue el pionero en la unificación de ambas áreas, por lo que se le podría considerar el padre del plegamiento de la estructura de la proteína. La nueva biología se caracteriza por la unión de datos, en contraposición a la ciencia observacional. Las nuevas habilidades de la bioinformática implican examinar datos, búsqueda de alineamientos, la estadística y la probabilidad, la inteligencia artificial, la teoría de información, los algoritmos de búsqueda y la teoría de grafos.

Llegados a este punto y gracias a los últimos descubrimientos en biología y en genética, conceptos como el ciclo, cambio, sistema nervioso, membrana, núcleo celular, gen, código genético, folding unfolding, familias y rizoma, comienzan a resonar no solo en el arte, la literatura y las ciencias, sino que se puede ver también formando parte de los conceptos que dan forma a un proceso de diseño arquitectónico, tal es el caso de los Metabolistas, Peter Eisenman, Neil Denari entre otros.

Desde los análisis de Hans Seidlmayr en 1930, hasta 1960 con la propuesta Metabolista, la genética como analogía no fue desarrollada durante este período. El interés arquitectónico se inclinaba hacia la función biológica, la anatomía y la biotécnica como lo señalaría Philip Steadman en su libro *arquitectura y naturaleza*:

*“Entre los modelos naturales de las ideas arquitectónicas humanas que relaciona, y además de los diversos tipos de edificios construidos por los animales, Word no olvidara mencionar la celebrada inspiración de Pastón en el envés de la hoja del nenúfar gigante Victoria Regia, para el diseño del techo de vidrio del Palacio de Cristal.” (46)*

### 1.3.6. La analogía genética en el trabajo de los Metabolistas

#### Metabolismo (1960 – 1975).

En la década de los sesentas, en un momento optimista para el Japón, llevo a los arquitectos a realizar propuestas con respecto a la populosidad y la congestión Urbana que enfrentaba el país en ese momento. Nace así el metabolismo, liderado por el arquitecto japonés Kisho Kurokawa, y acompañado de muchos otros arquitectos tales como Kiyonori Kikutake, Toyo Ito, Noriaki Kurosawa, Fumijiko Maki e Itsuko Hasegawa entre otros.

*“La información de los seres humanos es pasada a generaciones futuras a través del ADN, la tradición se debe valorar por su filosofía invisible, estilos de vida y códigos estéticos”. (47).*

*“During the first half of the 1960s Kenzo Tange designed the Yoyogi National Gymnasium, one of his masterpieces. At about the same time Japan entered a period of astounding economic development that was to last for more than a decade. Not only did this growth strengthen Japan economically and politically; it also, for the first time in history; upset the old Japanese social institutions and gave birth to a mass-oriented society: New people became prominent in all fields; new art movements that refused to be bound to the established orders appeared. For us the confusion produced by those changes provided an excellent opportunity to think about and act upon the cities and buildings that had been destroyed in the war. Confusion in the city made it impossible for monuments or symbols to control or dominate urban spaces.*

*Elements that mutually contradict, oppose, or operate in parallel make the character of cities and architecture multivalent and ambiguous and render visual comprehension of the whole urban landscape impossible". (48).*

Pensado como un movimiento de arquitectura futurista y de alta tecnología (al que se le comparó también con el término de *arquitectura Cyborg*), con proyectos de ciudades lineales, estructuras flotantes sobre el mar y la característica más importante y motivo por el cual se ha incluido en el presente trabajo: la propuesta de edificios orgánicos que crecieran indefinidamente. Para este último hago la aclaración de que la mayoría de estos conceptos solo se desarrollaron de manera analógica o metafórica, ya sea desde los procesos orgánicos, a la simple traslación de una forma al trabajo arquitectónico. Con la finalidad de introducirnos en la teoría metabolista, a continuación se exponen los puntos que caracterizaron la filosofía de este grupo:

1. Un desafío a la era de la máquina por un énfasis en la vida y en las formas vivas.
2. El resurgimiento de elementos perdidos en la arquitectura moderna, tradiciones como la historia, el sabor local y la naturaleza del lugar.
3. Un énfasis no solo en el todo sino también en la existencia y la autonomía de las partes, el subsistema y la subcultura.

4. La identidad cultural y el carácter regional no son necesariamente visibles. La información de los seres humanos es pasada a generaciones futuras a través del ADN, la tradición se debe valorar por su filosofía invisible, estilos de vida y códigos estéticos.
5. La arquitectura del metabolismo como la arquitectura de la impermanencia. Expresa un equilibrio dinámico por los conceptos del Budismo Zen, y plantea la impermanencia como una alternativa a los ideales estéticos occidentales de lo universal y lo eterno.
6. Consideraron la arquitectura y la ciudad como sistemas abiertos en tiempo y espacio, como si fuesen organismos vivos.
7. La diacronicidad, la simbiosis entre el pasado, presente y futuro, la coincidencia, y la simbiosis de culturas diferentes.
8. Consideraron la intermediación de zonas sagradas, la ambigüedad y la indefinición, como las características especiales de la vida.
9. La arquitectura del metabolismo considerada como la arquitectura de la información. La tecnología de la información, las ciencias biológicas y biotecnología producen la expresión arquitectónica.
10. Valorando la relación más que la realidad en sí misma.

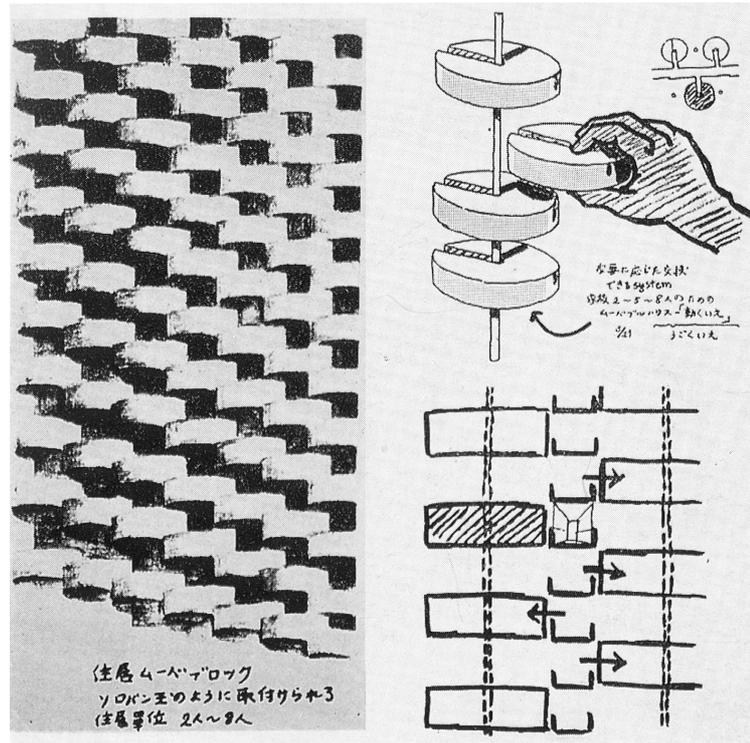


Fig. 14 *Le Maison Mobile*, Kiyonori Kikutake, 1960 *Los proyectos de Kikutake - la idea de la casa movible el mova-bloque, cápsulas cilíndricas que tienen que conectarse dentro de un tetraedro piramidal gigante, con un equipo móvil preparado (la cocina movible, el baño movible) todas éstas siguiendo los principios de la célula(cápsula).*

Entre los conceptos y aspectos tanto culturales como sociales que caracterizaban su filosofía, hacían mención y claro énfasis en el desarrollo de sus proyectos, a los conceptos biológicos como: *La célula, ciclo, cambio, sistema nervioso, membrana, núcleo celular, gen, en el código genético, citoplasma y el rizoma.*

### 1.3.6.1. La filosofía de la Simbiosis,

Antes de tratar el tema del metabolismo desde el punto de vista arquitectónico y de cómo surgió, en medio de tanto estrés sociocultural, Existe un tema de vital importancia para la formación de tal movimiento; son sus orígenes en el sentimiento propio de Kisho Kurokawa, con esto hago referencia a la simbiosis o *Tomo-iki*.

Kurokawa, se graduó de Tokai Gakuen en Nagoya (la Preparatoria de Tokai y el Colegio de Tokai), el alma mater del filósofo Takeshi Umehara y el ex primer ministro Toshiki Kaifu. Ambas viejas escuelas, fundadas hace más de un siglo. Fueron escuelas establecidas por monjes del Budismo japonés. Cuando Kurokawa estaba en la preparatoria de Tokai, el director era el Dr. Benkyo Shiio, un profesor de filosofía budista y cabeza del Shiba Zojoji en Tokio. El profesor Shiio fundó en 1922 el Tomo-iki (simbiótico) grupo budista, y formaba parte del movimiento para el desarrollo de nuevas direcciones en el pensamiento budista. Este movimiento continúa hoy activo, como la Base de la Simbiosis. El profesor Shiio era el autor de muchos trabajos, inclusive el *Kyosei Hokku Shu* (“Versos en la Simbiosis”), *Kyosei Bukkyo* (“un Budismo de Simbiosis”), y *Kyosei Kyohon* (“Manual de Simbiosis”), aunque en la época de estudios de Kurokawa estos libros no fueron publicados, pudo participar de

las conferencias que el Profesor Shiio dio, quedando grabadas en la mente de Kurokawa niño.

*“Los seres humanos no pueden vivir sin comer carne y verduras. Ellos no pueden sobrevivir sin minerales inorgánicos. Están vivos por todos los tipos de formas (bacterias) de vida que viven en órganos digestivos. Los seres humanos son mantenidos vivos por otras formas de vida y por la naturaleza misma. Y cuando las personas mueren, ellos llegan a ser cenizas y regresan a la tierra, donde ellos en cambio son comidos por plantas, por los animales, y por otras formas de vida. Esta relación de dar la vida y ser la vida es la relación de la “simbiosis”(tomo - iki). Y la simbiosis es la enseñanza más básica del Budismo” (49)*

El mensaje del profesor Shiio no era más que un mensaje ambientalista y ecológico. Relacionandolo con la teoría organicista puede decirse que comparte similitudes biológicas y de unidad con el todo con la creación, aunque no es un planteamiento desde el punto de vista artístico, estético o arquitectónico, queda claro que esta filosofía (la Simbiosis) pudo influenciar en gran medida la teoría metabolista, ya que fue Kurokawa quien lideró este movimiento.

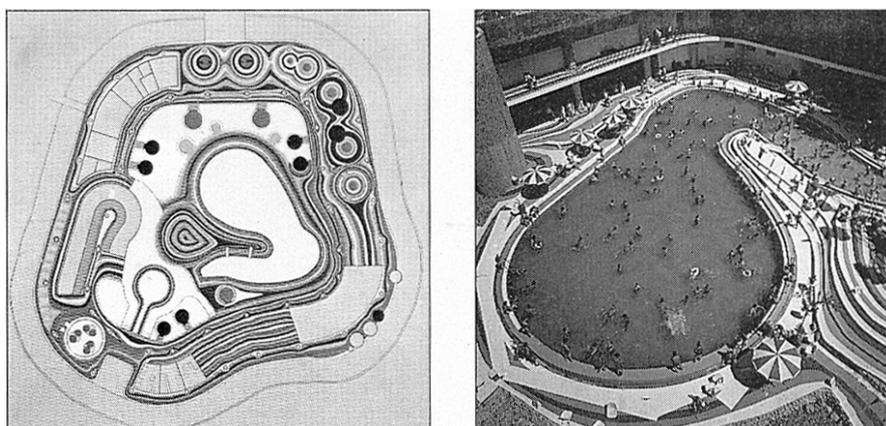
### 1.3.6.2. Etapas del Metabolismo

**Metabolismo:** *conjunto de todas las reacciones que suceden en una célula.*

Analizando los procesos del grupo (metabolistas), encontramos subdivisiones como “Metabolismo I” en una primera fase (aclaro que esta clasificación no fue hecha en orden cronológico, sino de acuerdo a la analogía de los procesos dentro del funcionamiento de los organismos naturales), en la que se hizo énfasis en conceptos biológicos como: *La célula, la cápsula, ciclo, cambio, destrucción, impermanencia*, todas estas reacciones químicas generadas en el interior de la célula. Por otro lado el “Metabolismo II”, que fue una segunda fase, se desarrollaron los conceptos de *sistema nervioso, redes, calles, matriz, corredor, órdenes abiertos y medios*.

Entendiendo el proceso en su primera fase (Metabolismo I), La imagen de la célula viva, el análisis de los procesos celulares; como el de crecimiento, de división, de cambio, de transformación, el producir la energía que necesitan para sostener los procesos vitales, la deconstrucción, el reciclaje, todos estos mecanismos para construir sus macromoléculas y la estabilidad dinámica. Es lo que lleva al concepto de una arquitectura de cápsula, (unidad mínima habitable). Es lógico entender la segunda fase del proceso como un estudio a mayor escala, tocando el contexto urbano. Como ejemplos del Metabolismo

tendríamos el “*Resort Centre Yamagata Hawaii Dreamland (1966)*”. Concebido este como un conjunto de células en su principio de crecimiento.



*Fig. 15 Resort Centre “Yamagata Hawaii Dreamland” 1966, Kisho Kurokawa.*

La célula aparte de haber sido usada como modelo para el engendramiento de un proyecto, les sirvió para comprender el desarrollo urbano. En los seres vivos las células (partes autónomas), se organizan a niveles más complejo, como lo es el sistema nervioso, que es uno de los códigos manejados en la segunda fase del Metabolismo. En el sistema nervioso existe una jerarquía en la que ninguna parte pierde su autonomía, pero que cada una existe en relación con el todo. El proyecto “*Metabonate de 1969*”, hace una alusión al funcionamiento del sistema nervioso. Una fábrica flotante sobre el mar, con redes interconectadas que se acerca a la idea de sistemas de circulación de mensajes en las redes de computadores. Se pensó en un

crecimiento de sus partes, con la idea de que estas conformasen en última instancia un todo.

### 1.3.6.3. Metamorfosis

Del griego (*morfé*), que al igual que su equivalente latino *forma*, significa forma, figura, aspecto exterior, apariencia; (*mórfosis*) es igualmente la forma, y también la belleza. Con el prefijo meta (*metá*) = más allá, se convierte en *transformatio* = trans-forma-ción, es decir en la acción de cambiar de forma. Forjaron también el verbo (*metamorfóo*)= transformar, metamorfosear; (*eis ti*), en algo.

Goethe explicó así los tres elementos básicos de la planta:

*“raíz, tallo y hojas son capaces de adquirir las más diversas formas para crear los demás órganos: las flores con su gran complejidad y variedad, los frutos, de todas formas, texturas, colores y sabores; los recubrimientos adaptados a las necesidades de cada planta: desde los aterciopelados a los amortiguadores (corcho), pasando por los urticantes y los de pinchos agudísimos; la adaptación a los climas más secos, desarrollando una gran capacidad de aprovechamiento y almacenamiento del agua; y así una gama infinita de caracteres que se desarrollan en centenares de miles de especies. Y todo mediante procesos de metamorfosis de los tres elementos básicos”. (50)*

Los Conceptos biológicos desarrollados en este proceso (metamorfosis I), fueron los de *célula, membrana, zona intermedia, ambigüedad, ambivalencia, interpenetración, multivalencia; y núcleo celular, puerta, atrio, hyper-espacio, etapa, plaza*, en la segunda fase. En los dibujos de la “*Metamorfosis*”, se puede analizar el énfasis en el concepto de ciudad lineal. Aquí La metáfora biológica se plantea siguiendo las ciudades lineales de Soria, Matta, Leonidov, Le Corbusier etc. Así como la ciudad jardín, la ciudad lineal tenía la ambición de romper con la ciudad concéntrica. En esta fase se destacan proyectos como: “*Marine city*” y “*Cell City de Kiyonori Kikutae, 1960*”. Desarrollando los principios de unidades de células (cápsulas), en su analogía con el proceso de división de esta misma, pero ya en una propuesta a nivel urbano.

En palabras del mismo Kurokawa, haciendo referencia a la Metamorfosis citamos:

*“La metamorfosis es un principio de la vida del que carece completamente el principio de la máquina. Manifestarlo en el proceso de transformar el desorden en orden, o en el proceso de evolucionar de una mera colección de células hacia una estructura de vida mucho más complicada, no es más que otro de los procesos del crecimiento y el cambio, como cuando una crisálida llega a ser una mariposa. Es un balance dinámico, una mutación de una zona a otra, un salto del caos al orden, de una dimensión simple hacia una compleja. Este salto se puede considerar como una simbiosis de diferentes dimensiones, el caos y el orden de elementos heterogéneos. La metamorfosis se hace posible por la intermediación de zonas. La zona intermedia es el proceso*

del paso del tiempo, la zona intermedia de conocimiento tentativo, la zona intermedia entre diferentes dimensiones, el interior y el exterior, seres humanos y naturaleza, o la naturaleza artificial como la segunda naturaleza, todas estas demostraciones del principio de la vida. El modelo para la zona intermedia del principio de la vida es la membrana celular. Consiste en tres capas cuya característica especial es su semi-permeabilidad, la cual se tiene en cuenta para la mutua penetración. El principio de la vida abraza la ambigüedad, la ambivalencia y la polivalencia, los cuales son rechazados totalmente por el principio de la máquina. Las fachadas mutuamente penetrantes, los enrejados y las superficies de las capas son todas zonas intermedias que crean un tipo nuevo de arquitectura trayendo los elementos heterogéneos de la simbiosis”. (51)

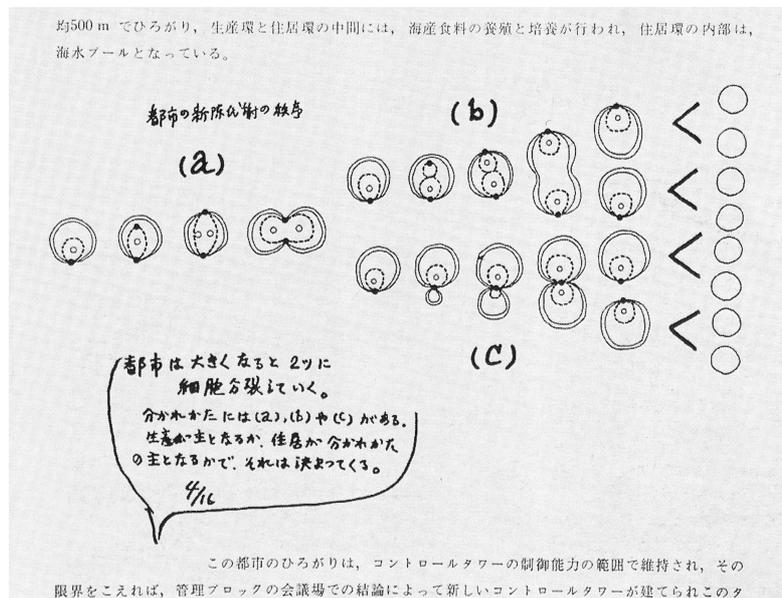


Fig. 16 Uno de los dibujos titulados *Metamorfosis*, en donde se propone la “Marine City”, de Kiyonori Kikutae, 1960, *Metáfora de la división celular aplicada a las propuestas urbanas*.

#### 1.3.6.4. Simbiosis

La simbiosis puede decirse que fue el proceso que abarcó los anteriores conceptos, el de metabolismo y el de metamorfosis. Incluyendo los términos biológicos de gen, identidad, topos, tradición, y memoria, en la primera fase, código genético, abstracción, cosmos, connotación, e imagen mental, en la segunda y citoplasma, relación, lo indefinido, rizoma, libertad, y poema, para la última de las fases, la “Simbiosis III”.

La simbiosis como se ha citado anteriormente, puede decirse que fue el principal y último destino dentro de la lógica del Metabolismo, sus dos aspectos fueron el principio de la vida y la elevación de la cultura japonesa a través del Budismo. La simbiosis, la identidad y el topos son las características especiales de la vida, distintas estas a la de la máquina. El Mahayana, la filosofía budista del conocimiento solo es inherente en términos de Simbiosis. Es la esencia de la cultura japonesa, que se presentaba como un desafío al centralismo occidental, y a la llamada por una era en donde las culturas pudiesen existir en una simbiosis pluralista. Entendiendo tradición, código genético, gen, imagen mental y memoria, la simbiosis se desarrollaba por medio de símbolos o signos basándose en la caligrafía producida por un pintor y monje Zen Sengai, del siglo XIX, que consistía en círculos, triángulos

y cuadrados, creyendo que esas tres formas abstractas expresaban el universo y eran los símbolos de comunicación con dios y con el cosmos:



*Fig. 17. Caligrafía creada por El pintor y monje Zen Sengai en el siglo XIX.*

Sobre los símbolos usados como códigos genéticos dentro de la analogía aplicada al proceso de diseño arquitectónico expresaban:

*“Los signos que podemos leer de las máquinas expresan el mismo significado en todo. Por contraste, los signos producidos por la vida varían según el recipiente, y es precisamente está la característica extraordinaria de la información viva. Hay dos métodos completamente diferentes para producir este doble código, esta ambigüedad o la polivalencia. Uno está yuxtapuesto a los signos heterogéneos, escritos en la identidad, en el topos y otro, los símbolos*

*históricos. El segundo método es la abstracción; es el gran producto del arte moderno, la filosofía moderna y la arquitectura Moderna, pero para impulsarlo al futuro, nosotros debemos crear una abstracción que no sea universalista pero que exista para el propósito de expresar un doble código. Las formas abstractas que he utilizado, círculos, conos, cuadrados, triángulos, cubos, esferas, pirámides cuadriláteras, pirámides y óvalos triangulares, no solo son figuras de la geometría moderna; ya que ellas existen en simbiosis con la antigua visión del universo. En términos del principio de la vida, ellas son un código genético". (52)*

### 1.3.7. Otras analogías biológicas

#### 1.3.7.1. Zoomorfismo

Zoomorfismo, del griego ζῶον *zōon*, significa animal, y μορφή, *morphē*, que significa “se transforma”, o “la forma”. Se refieren a la representación de formas animales en ornamentos, o a la representación formal de dioses, o con atributos animales no humanos, y también se refiere a la transformación de humanos en bestias.

Antropomorfismo, se refiere a la personificación, a la atribución de características humanas a objetos inanimados, los animales, y a las fuerzas de la naturaleza. El “antropomorfismo” viene de dos palabras griegas, ἀνθρώπος, *anthrōpos*, que significa humano y μορφή, *morphē*, que significa “se transforma” o “la forma”.

Las alusiones o analogías sobre el hombre a lo largo de la historia han girado en torno a su comportamiento o a su sexualidad; cabe resaltar que según la similitud desde el punto de vista biológico con el simio, los procesos tienen grandes diferencias, y obviamente encontraremos muchas más si

intentamos comparar los procesos orgánicos del hombre con los de un protozoo (radiolario) como ejemplo.

Dejando a un lado esta discusión y entrando de lleno en el término Zoomorfistas, se ha dejado claro en muchos escritos, y yo personalmente considero que solo se refiere a un énfasis en el carácter estético extraído de los animales(más exactamente de las formas animales); de la misma manera el Biomorfismo, término que proviene del periodo del Art Nouveau (no considerado para el presente trabajo, por su énfasis en la mera característica estilística y que guarda relación con el organicismo tratado anteriormente), es más estilístico que “orgánico”, y que sugiere que únicamente es la forma la que cuenta.

El Zoomorfismo propone, que también se deben tener en cuenta los patrones y mecanismos de edificios que se derivan de modelos biológicos. En este punto creo que la proliferación de términos utilizados para referirse a una misma cosa es caprichosa, perfectamente podrían estar refiriéndose a la Biónica, término dentro del campo de la ingeniería que hizo su aparición a mediados del siglo XX, y que estudia las estructuras y los procesos en los fenómenos biológicos con el fin de aprovechar estos conocimientos para desarrollar, perfeccionar y mejorar el entorno tecnológico del ser humano.

Algunos críticos de arquitectura consideran la arquitectura biomórfica que se produce actualmente como una broma de muy mal gusto. Puede que tengan razón, ya que en sus inicios, el biomorfismo apostaba por desarrollar únicamente la parte estilística en el proyecto más no la utilización o análisis teórico de los procesos de la naturaleza. La arquitectura biomorfica ha tenido también su lado ridículo. Existe una tradición de edificios que representan animales de la forma más literal.

Edificios como el “Pato grande”, una tienda en forma de pato para la venta de señuelos de pato, les sirvió a Robert Venturi y Denise Scott Brown para referirse a este tipo de arquitectura como “*Big duck’s architecture*”. Actos como estos comenzaron a proliferar en el siglo XX. Aunque la tendencia quizá fue empezada por “*Lucy el Elefante*”, una atracción en la costa de Margate, Nueva Jersey, patentado por James Lafferty en 1883. Existen muchos más precedentes, pero para qué ir tan lejos si hoy en día contamos con los peces de Frank Gehry.



*Fig. 18. Izquierda Big Duck, Long Island 1830.*



*Fig. 19. Derecha Lucy el Elefante, costa de Margate Nueva Jersey; James Lafferty 1883.*

Después, de la introducción de la malla de acero por Louis Sullivan en la Escuela de Chicago, se vio que se podría considerar la estructura interna separada de la piel externa, planteando aquí una comparación con la piel y el hueso en los vertebrados. Pero aunque los rascacielos de Chicago no hacían analogías zoomorfitas, tardaron pocos años, antes de que hubiese una erupción de formas biológicas en la historia de la arquitectura.

Aunque el Art Nouveau generó las formas que eran sobre todo vegetales, también había similitudes con las formas animales. El zoólogo Ernst Haeckel en su tratado de “*Zoología, Kunstformen der Natur*”, en 1899 en la cima del Art Nouveau y del movimiento separatista de Viena, lo ilustra con sus numerosas criaturas marinas (radiolarios), a menudo microscópicas y

dibujadas con gran colorido las que fueron comparadas con las lámparas de Tiffany. Se cree que los cilios dibujados por Haeckel, inspiraron directamente a Bruno Taut para el famoso pabellón abovedado de vidrio para la exhibición de Werkbund en Colonia en 1914.

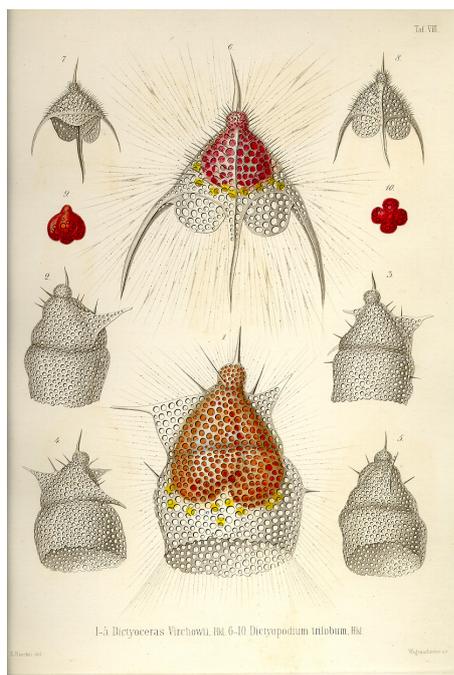


Fig. 20. Ilustración de Ernst Haeckel de su libro "Kunstformen der Natur", en 1899

Fig. 21. The Glass Pavilion, Bruno Taut 1914.

Arquitectos e ingenieros tales como Pier Luigi Nervi y Gio Ponti, así como Oscar Niemeyer explotaron el potencial estructural del hormigón, mientras otros empujaron en una dirección de biomorfismo. Los proyectos triunfantes de esta década son la TWA Terminal del aeropuerto de Kennedy de

Nueva York por Eero Saarinen, y el polysemous Sydney Opera House de Jorn Utzon.

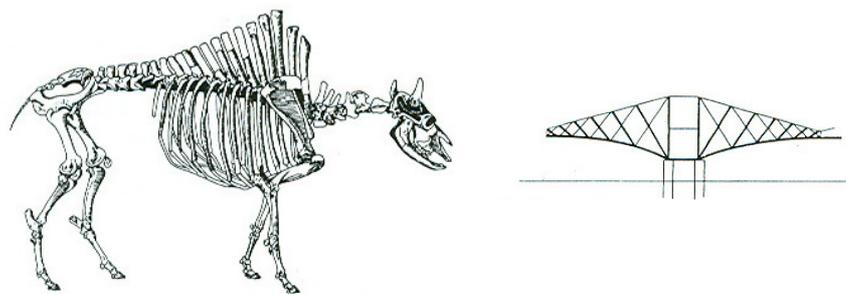


*Fig. 22. Sydney Opera House por, Jorn Utzon, 1957.*

### **1.3.7.2. Estructura y bioantropomorfismo**

Toda forma, independientemente de su función, contiene en sí misma una estructura. Generalmente, las estructuras que emplean la compresión resultan gruesas y cortas; como las patas de un elefante, que para soportar una gran carga salen verticalmente a los lados del cuerpo en un punto cercano al centro de gravedad del cuerpo del animal. En cambio, las estructuras que

emplean la tensión presentan la delgadez y ligereza de las telarañas. El sistema óseo es la estructura interna del cuerpo, que se mantiene unida y articulada por el sistema muscular (ligamentos, membranas, tendones y músculos), toda una red en tensión. Casi todos los huesos requieren de flexibilidad en sus dos extremos y de rigidez en la parte central. Desde el punto de vista de las estructuras, el esqueleto de los animales de cuatro patas se considera como un sistema de doble voladizo, en el que las fuerzas se equilibran.



*Fig. 23. Comparación entre el puente Forth Rail y el esqueleto de un bisonte, D'arcy Thompson On growth on form. 1917.*

D'arcy Thompson publicó en su libro “*On growth on form*” en 1917, una comparación entre un puente de baranda y el esqueleto de un bisonte, indicando que ese carnero de forma natural o sintética es un esquema de fuerzas. (Ver figura 23)

Dentro de la clasificación de estructuras están las más utilizadas en arquitectura e ingeniería, las estructuras ligeras: Basadas en los huesos,

caparazones de animales, pieles y cáscaras. Frei Otto se inspiró en el esqueleto de un dinosaurio para construir una grúa. Las estructuras laminares o ligeras más típicas son básicamente cuatro: Red de cables, Neumáticas, Cascarones, y Geodésicas, inspiradas en telarañas; inspiradas en las burbujas; inspiradas en huevos; y en radiolarios.

Las estructuras neumáticas se pueden analizar en la célula animal o vegetal. Tanto en los líquidos como en la célula se produce el fenómeno de tensión superficial, uno de los temas bandera utilizados por D'arcy Thompson en su tratado "*On growth and form*". Un ejemplo claro es el proyecto del Pabellón Fuji, para la "Expo 70" de Osaka Japón por el arquitecto Yutaka Muramata.

El huevo es un ejemplo de estructuras de cascarón, sin embargo, también se puede observar en los crustáceos, o en la cubierta de los insectos, caracterizándose las propiedades como: su forma curva y la dureza del material. Las estructuras en el espacio, generalmente tiene una mayor rigidez en comparación con la estructura plana. Dentro de nuestro cuerpo, las estructuras curvas cumplen la función de proteger a los órganos vitales. El cráneo resguarda al cerebro y la caja torácica, protege al corazón, los pulmones

y las vísceras. Las conchas, además de proteger a los moluscos del resto de animales, les permiten soportar la presión del agua a grandes profundidades.

Uno de los arquitectos que más se destacó en la utilización de cascarones en la arquitectura fue Félix Candela en México, durante los años 50 y 60, utilizándolos para cubrir iglesias, gasolineras, bodegas, etcétera. En palabras de Colin Faber refiriéndose a los trabajos de Candela:

*“Candela durante su carrera comenzó a juntar todo cuanto se había escrito sobre conchas, conchas marinas y cascarones, y a estudiar cómo resisten la presión y cómo no se rompen, y cosas por el estilo”. (53)*



*Fig. 24. Capilla de San Lorenzo de Xoximilcas, Arquitecto Felix Candela, Mexico, 1959.*

El proyecto de Eero Saarinen para la Terminal T.W.A., en Nueva York, es un diseño de estructura libre. Como lo explicaría el mismo Saarinen:

*“Puede decirse que se trata de formas estructurales que se derivan de las leyes del cascarón curvo. Se trata de una voluntad plástica que busca la continuidad de todos los elementos arquitectónicos... La fluidez de todos los elementos hace imposible que se proyecte con solo dibujos... Los ensayos se harán en el modelo hasta la solución final... Fue uno de los días más felices cuando terminamos las maquetas; encontramos, por ejemplo, que en la planta eran formas maravillosas y espontáneas, que nunca hubiéramos descubierto por el camino del dibujo”.*(54)

La forma exterior de la Terminal evoca la figura de un ave. Sin embargo, según Saarinen, tal simbolismo fue en lo que menos pensó.



Fig. 25. TWA Aeropuerto Kennedy de Nueva York por Eero Saarinen, 1962

De estructuras Geodésicas en el reino animal están los radiolarios, estos son organismos microscópicos que se encuentran en el plancton que flota en el mar:

*“Un radiolario es de forma esférica y se compone de una espuma rígida, cuya red corresponde a la separación de las diferentes burbujas, en las aristas se concentra la energía superficial formando algunas veces una red hexagonal; en otras, la red aparece perforada por prominencias esféricas”.* (55)

Para Fuller, la geodésica consistió en el refinamiento constante de la estructura, dando lugar en algunos casos a una arquitectura formalista. Félix Candela dice en su libro:

*“La Defensa del Formalismo y otros Escritos: El proceso es...contrario al usual en el proyecto arquitectónico. Se elige primero la forma estructural, y se ve, después, si es posible meter dentro de ella lo que exija el programa de funcionamiento”.* (56)

### 1.3.7.3. Zoomorfismo Simbólico

El simbolismo animal se ha empleado a lo largo de la historia de la humanidad. El simbolismo más obvio surge cuando un edificio se destinaba a servir como una puerta representativa de la entrada a una ciudad. La adición de Santiago Calatrava al museo de arte de Milwaukee es un ejemplo principal. En otras circunstancias, el animalismo sirvió como una metáfora para el propósito del edificio.

Uno o dos siglos atrás, a través de la pintura clásica se comprendió por qué los animales dibujados en la Biblia representaban el mito o la leyenda. Los animales se utilizaron para representar los cuatro elementos y las cuatro direcciones terrestres así como variados destinos, los sentidos, los pecados y las virtudes. La mariposa que surge de su crisálida representa el alma que parte del cadáver. El mono representa el diablo o al hombre caído. En un sistema de signos cargados de ambigüedad y redundancia, algunas especies como el escorpión adquirieron atributos de carácter negativo, tal como la que significa el odio, la envidia. África, la tierra o la lógica según el contexto, o la paloma, indicativo de lujuria, castidad y de espíritu santo. Los aborígenes australianos incorporaron en sus diseños elementos del simbolismo animal. Cuando hay una relación “primitiva” o religiosa, parece que hay mucha más aceptación, en esta clase de simbolismo, vale citar la cultura Egipcia y todo el Zoomorfismo que caracterizo a sus dioses. A través de la historia

arquitectónica las formas animales han jugado su papel, y debemos asumir que la forma animal, cuando aparece en un edificio contemporáneo es sugestiva.

En la psicología de Jung, el ego es a menudo representado por un animal. Así como la representación de animales en una pintura quizás intenta recordar al espectador la historia del arca de Noé. Los pájaros y los peces, por ejemplo, adaptados a medios que los humanos no pueden dominar, siempre han simbolizado trascendencia. El hecho que un pájaro es una representación clásica del antiguo elemento de aire, agrega un matiz a su frecuente utilización en la arquitectura de aeropuertos. Lo mismo ocurre con la representación de los animales acuáticos en los edificios costeros como el museo “*Guggenheim*” en Bilbao por Frank Gehry, al que le asignan analogías como ballena, pez, barco etc.

En la arquitectura contemporánea nos encontramos con el caso de los peces de Gehry. Los ha utilizado en sus oficinas temporales para el Chiat/Day, en la Villa Olímpica de 1992 en Barcelona, y alcanzó su apoteosis con la propuesta para la Casa Lewis en Lyndhurst, Ohio. En palabras de Hugh Aldersey con respecto a Gehry, (en su libro *Zoomorfic*):

*“...en Kobe, el cliente hizo la sugerencia, aunque enterado de la preocupación de Gehry. Y en Barcelona, Graham lo convenció. Gehry había estado jugueteando con*

*otros dispositivos formales antes de probar un pez. Casi inmediatamente esta idea funcionó mejor en todos los aspectos, dice. 'No solo complementó y reforzó la torre y su presencia, pero creó también un espacio público mucho más fuerte. Fiona Ragheb observa en su libro reciente sobre Gehry; la apariencia frecuente del pez es el testamento a la apelación funcional de la flexibilidad estructural de la forma'. (57)*



*Fig. 26. Fish Dance Restaurant, Kobe Japón, Frank Gehry, 1986 – 1987.*

Santiago Calatrava es uno de los arquitectos que se caracteriza por imprimir simbolismo en sus obras, aunque los mismos arquitectos ven su trabajo como el de un ingeniero. Los ingenieros encuentran en sus obras aunque un tanto escultóricas, una gran lógica estructural. En el “*Milwaukee Art Museum*” (1994 – 2001), los huesos de ala de un ave, la espina dorsal, se entremezclan en todo el edificio, dando la sensación del ave en vuelo.

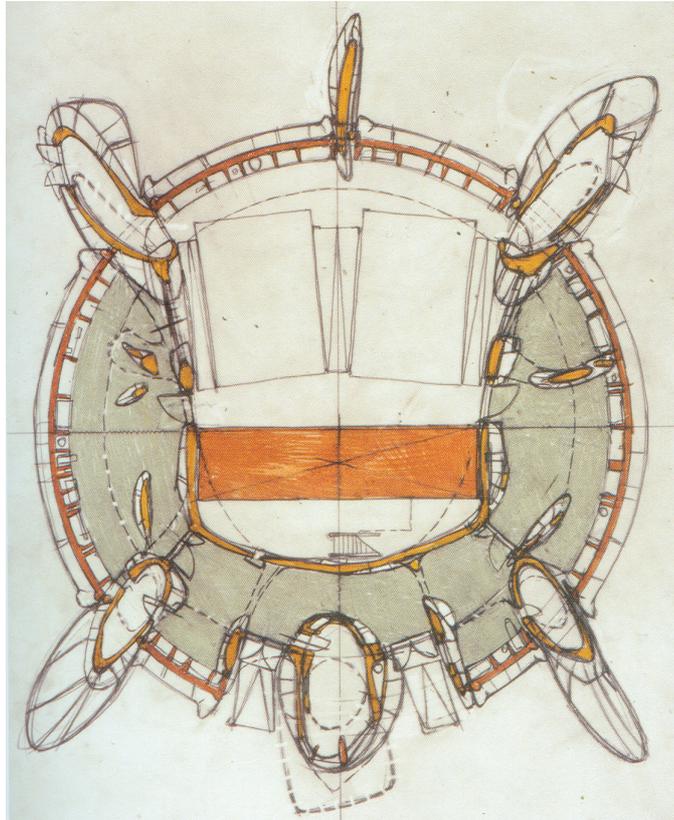
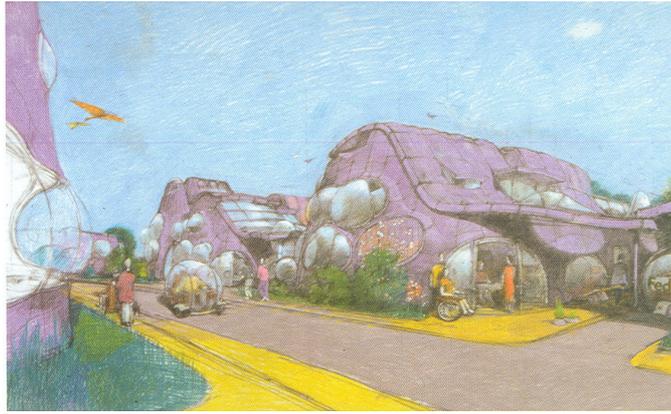


Fig.27. *Milwaukee Art Museum, Wisconsin USA, 1994–2001, Santiago Calatrava.*

Michael Sorkin Studio, como el mismo afirma:

*...la imitación de la forma es nuestra principal fuente, y la raíz de la cual podemos imitar la naturaleza". (58)*

El Zoomorfismo lo plantea en dos series de casas - las casas hipotéticas de animales, denominadas: perro, la rana, el cerdo hormiguero y la oveja, y la más polémica, la casa anfibia. Con un alto contenido de formalismo biomorfo. En la casa del futuro plantea las funciones bioquímicas de los organismos, para reflejar el cambio demográfico lejos de la vida núcleo que es el ideal de familia en Norte América.



*Fig. 28, Turtle Portable Puppet Theatre, 1995.*

*Fig. 29, The House of the Future, Michael Sorkin Studio 1995.*

#### 1.3.7.4. Función

En esta clasificación entra la nueva era de arquitectos, claramente impregnada de tecnologías. En un momento en el que la biónica, la biotecnología y la nanotecnología imperan, se puede plantear y acercarse mucho más a la idea de organismo vivo, tan buscada en la antigüedad. Desde Buckminster Fuller cuando demostró todos sus trabajos, basados en la molécula de carbón y cómo el análisis de una gota de lluvia en caída pudo inspirarle para diseñar el “*Dymaxion*”.

Arquitectos como Kas Oosterhuis, Greg Lynn, Mark Goulthorpe etc. Se acercan a través de sus propuestas a esta arquitectura supuestamente planteada en armonía con el hombre, y que además interactúa con el habitante de esta.

Buckminster Fuller utiliza la analogía de la molécula de carbón para sus cúpulas, y son estas mismas formas las encontradas en los protozoos marinos más conocidos como radiolarios, y también en los virus. Son formas básicas ilustradas en un principio general declarado por “*D'Arcy Thompson*”:

*“...que algunos de las mejores estructuras logradas por hombre se ven también en la naturaleza, por la sencilla razón de que tanto el edificio como el organismo*

deben responder a las mismas fuerzas físicas. Los Radiolarios son un género de protozoarios marinos que tienen un esqueleto de malla de silicio en una serie de formas poliédricas que deslumbran. En el ambiente submarino ingrávido las estructuras delicadas son suficientes para proteger el cuerpo suave de la criatura. El edén biomes, por otro lado, gana su batalla con la gravedad porque los módulos de películas de polímero, pegadas a la estructura pesan apenas un centésimo de los entrepaños equivalentes de vidrio”. (59)

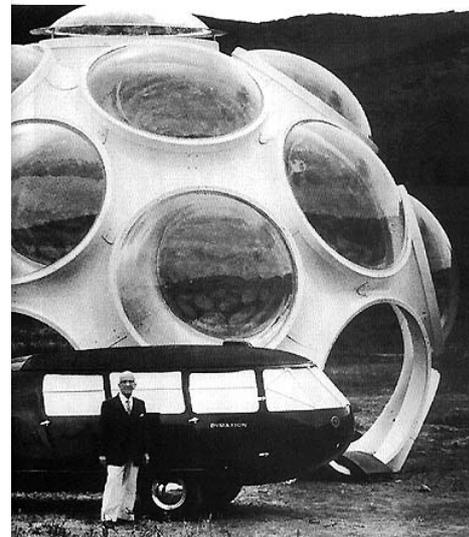
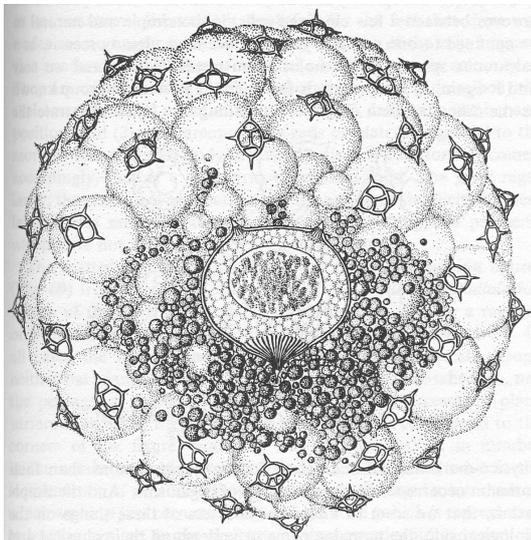


Fig. 30. Izquierda, *Dactylochoa Stapedia*, protozoo, imagen de radiolaria del libro “On growth on form de D’Arcy Thompson” 1917.

Fig. 31 Derecha, Buckminster Fuller y una de sus Cúpulas basadas en la molécula de carbón.

La metáfora traslada una forma o imagen creada por el arquitecto, al proyecto creado, tal es el caso del proyecto *Milwaukee Art Muséum*, 1994 – 2001, de *Santiago Calatrava* o el *World Trade Center for Human Concerns* de *Ocean North*. Así mismo la analogía es planteada en el diseño como una idea a

desarrollarse, en la que el resultado final muchas veces no guarde relación con la idea originaria.

Por otro lado están, los proyectos que pueden generar la idea de metáfora en la arquitectura y que en realidad son una mera casualidad, como en el caso de Eero Saarinen en la TWA Terminal del aeropuerto Kennedy, en el que la idea de un ave a punto de emprender el vuelo es claro, pero como afirmó el mismo arquitecto no fue esa su intención. Con esta situación tienen que enfrentarse los arquitectos hoy en día, como una consecuencia directa de la utilización de los “softwares” de diseño emergente, que les permiten crear o engendrar formas irregulares en poco tiempo.

Aun así, con respecto a la pregunta de por qué hoy en día proliferan mucho más las formas biológicas, se podría responder que es más fácil darle esta interpretación, debido a que cualquier objeto que se salga de las coordenadas cartesianas y que presente unas pequeñas curva, se puede leer como orgánico. Otra razón mucho más significativas es el actual discurso sobre arquitectura digital, siendo el “software” el protagonista, ya que existen programas como el “*XFrog* software de generación botánica”, utilizado por Dennis Dollens, que le permite trabajar directamente en su área de estudio que son las formas orgánicas de la naturaleza.

Aunque la mayoría de los “softwares” han llegado al campo de la arquitectura como un legado de la ingeniería, y luego de las ciencias biológicas o físicas. Y que desde hace dos décadas se han desarrollado “softwares” con esta finalidad. Obviamente si en el campo de la arquitectura igual que en el de la ingeniería hubiese un área que se dedicase al desarrollo de “softwares”, no tendríamos que ingeniárnoslas para producir lo que queremos desde otros aproximación.

### 1.3.7.5. Biomorfismo

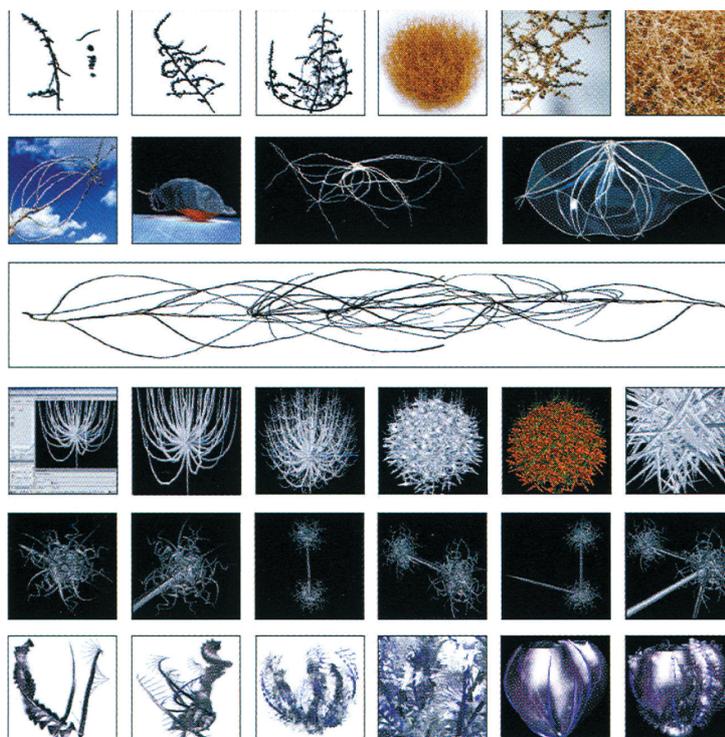
Definiendo el Biomorfismo como la representación de formas biológicas en la arquitectura, y que a través de la historia se derivó del concepto clásico de formas creadas con la idea de representar la vida natural (que se aplicó a las formas orgánicas de los siglos XIX y XX). Lo planteo dentro de la analogía orgánica con Dennis Dollens como claro exponente, hoy en día.

El trabajo de Dennis Dollens es un trabajo de carácter orgánico, en el que ha hecho mucho énfasis a la influencia recibida por Louis Sullivan; él plantea un concepto biomimético, que yo no veo reflejado en sus trabajos, ya que el concepto biomimético hace referencia a la imitación de las características funcionales de la naturaleza aplicadas en los procesos de búsqueda de nuevos materiales en el campo tecnológico, o biotecnológico. En la arquitectura lo entendería como la técnica que busca nuevos materiales para la construcción tal es el caso de la biónica.

Dollens plantea una arquitectura Botánico-Digital, en la que partiendo de un elemento de la naturaleza, y un estudio de los llamados por él mismo “*Sistemas de información*” le ayudan a generar las formas deseadas. Estudiando

los sistemas de conexión “*Branching system*”, traslada estos conceptos de carácter estructural, como códigos para generar los modelos digitales, y poder así trasladar estas estructuras a un medio real.

*“Aunque hay numerosos arquitectos que buscan la vida artificial, autómatas celulares y algoritmos genéticos para hallar métodos computacionales que formulen una arquitectura genética, y aunque estoy personalmente interesado en todos estos sistemas, mi enfoque es diferente. Trato de encontrar una hipótesis desde la que sea posible establecer una serie de pasos de diseño e investigación, que tengan en cuenta las formas de vida y el proceso biomimético, así como la información científica presente e histórica para la producción, generación y fabricación digital de estructuras y superficies.*”



*Fig. 31. The Muséum of Fine Arts, Santa Fe New Mexico, 2001 – 2002. Bóveda Realizada con elementos botánicos y papel fabricado a mano. Renderings de espacio extrapolado. Estructura y superficie en STL.*

*Así mismo estoy intentando establecer una relación entre generación digital, mimesis botánica, de modo que el flujo de la interpretación poética y artística sea incluido en el proceso de generación de la forma.*

*“En más de una ocasión, esta interpretación podría describirse de manera más precisa como un proceso de extracción de información botánica, normalmente de la estructura de una planta, del ramaje, de las hojas de las vainas, de las flores, etc., con el fin de reproducir o de captar una cualidad, una forma o una característica estructural, normalmente atribuida a factores genéticos que le son inherentes, como la filotaxis o el fototropismo.*

*Básicamente estoy intentando moverme entre el mundo de formación de híbridos y de las formas que de ellos resultan como un paso hacia una arquitectura digital botánica está conceptualmente formulada como ‘semillas’ que contienen hipótesis e información. Así estoy intentando usar estas ‘ideas-semillas’ para experimentar y “hacer-crecer” obras escultóricas y arquitectónicas en un software de generación botánica llamado Xfrog”(60).*

Como se puede ver en la siguiente imagen, Dollens toma la idea de una semilla natural y la traslada a la idea de un quiosco, crea un espacio digital a partir de la analogía de un elemento natural, orgánico.



*Fig. 32. Imágenes: Semilla conceptual para el crecimiento, Software de Generación Botánica Xfrog.  
Dennis Dollens*

## Kas Oosterhuis

### *The Emotive house.*

Oosterhuis propone la casa emotiva, como resultado al trabajo que viene desarrollando al que ha denominado Arquitectura emotiva, en “*E-motive Architecture*” publicado en 2001,

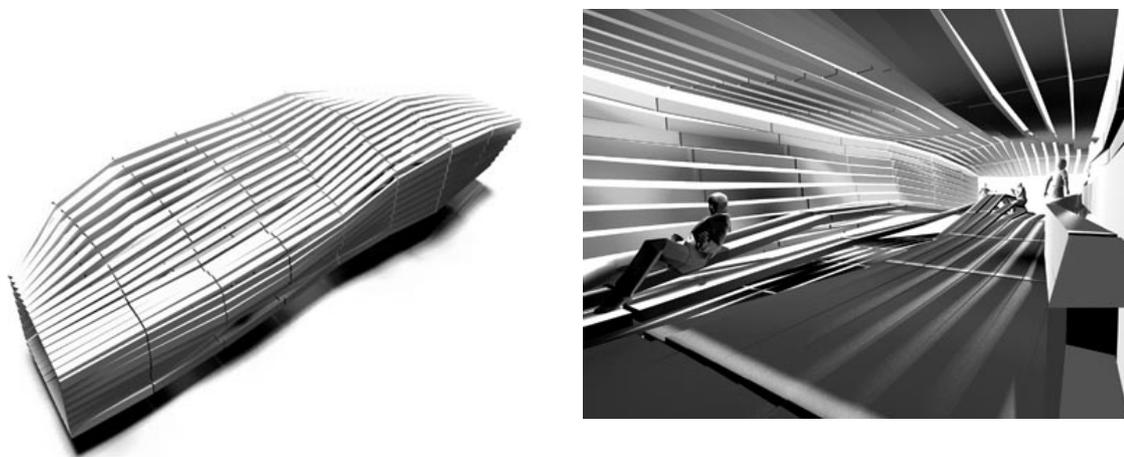
*“La arquitectura emotiva se basa en la noción que edificios que se alimentan de la información de procesos y transmiten información en una forma diferente. Los edificios se ven como dispositivos de salida y de entrada. Es justo decir que los edificios Emotivos se encuentran en un estado de procesamiento continuo. Los elementos del edificio siempre mantienen un ojo en la parte vecina del edificio, siempre se prepara para actuar y reaccionar de acuerdo a las necesidades de sus usuarios y a las circunstancias bio-climáticas. La arquitectura emotiva es el arte de espacios de transacción del edificio.*

*Electrónicamente: El ambiente vivo se electrificará; tiene sensores y discierne todo alrededor de él, esto es la arquitectura de manejo de datos.*

*El motivo: El edificio será el motivo, utilizando las estructuras cinéticas, que serán capas de reaccionar a los impulsos que le llegan. Esto permite la conducta, la mente y el cuerpo llegan a ser uno y un nuevo organismo nuevo.*

*Las emociones: El edificio tendrá un comportamiento, tan complejo como el de un organismo, un organismo con emociones.” (61)*

La casa se debe considerar como un laboratorio que toca las relaciones emocionales entre el hogar y los habitantes, entre el espacio y sus huéspedes y entre los elementos de la casa y él mismo. La forma de la “emotive house” es un espacio largo y movable, que no hace alusión a ninguna forma orgánica, es pensada desde el punto de vista funcional de los organismos vivos.



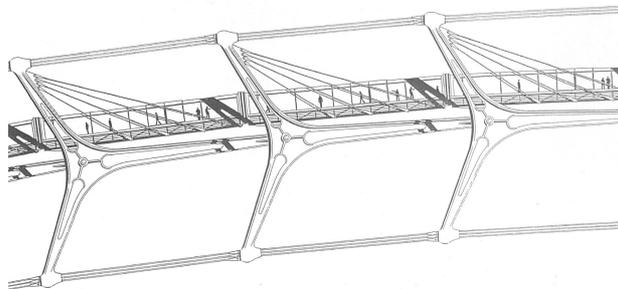
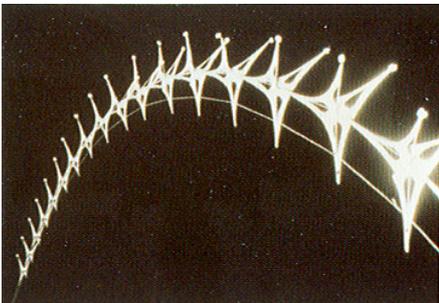
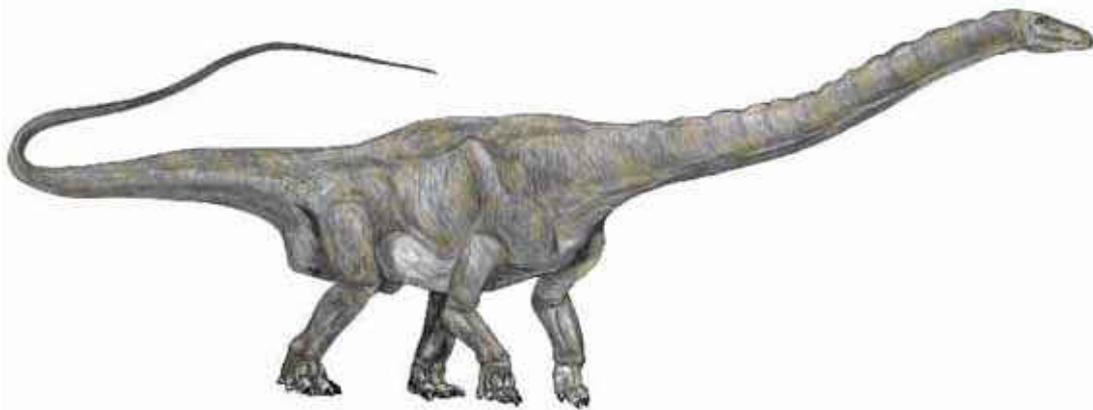
*Fig. 33. Izquierda, The Emotive House 2002, Kas Oosterhuis, Vista Exterior.*

*Fig. 34. Derecha, Vista interior de la casa, Kas Oosterhuis 2002*

## Marks Barfield Architects.

D'Arcy Thompson presentó en su libro un capítulo dedicado a las relaciones estructurales con la naturaleza “*On form and mechanical efficiency*”, relacionó a través de diagramas de presiones, para ilustrar la carga espinal de una variedad de animales, esquema, como el del bisonte y el Forth Rail mencionados anteriormente.

Marks Barfield utiliza la misma analogía estructural encontrada en la naturaleza, en este caso observa el mismo sistema estructural que presenta la columna vertebral de un diplodoco (como su nombre lo indica significa “*doble viga*” pertenecía a la genealogía de los saurópodos, vivió aproximadamente 150 millones de años atrás y llegó a medir 45 metros). Como punto de partida para diseñar el puente del futuro. Como en las secciones de un esqueleto, el puente peatonal de 200 metros no es un arco tradicional con pies fijos, pero sí resuelto con una sola viga voladiza. Está formado por 23 unidades vertebrales, de unos 15 metros a lo largo.



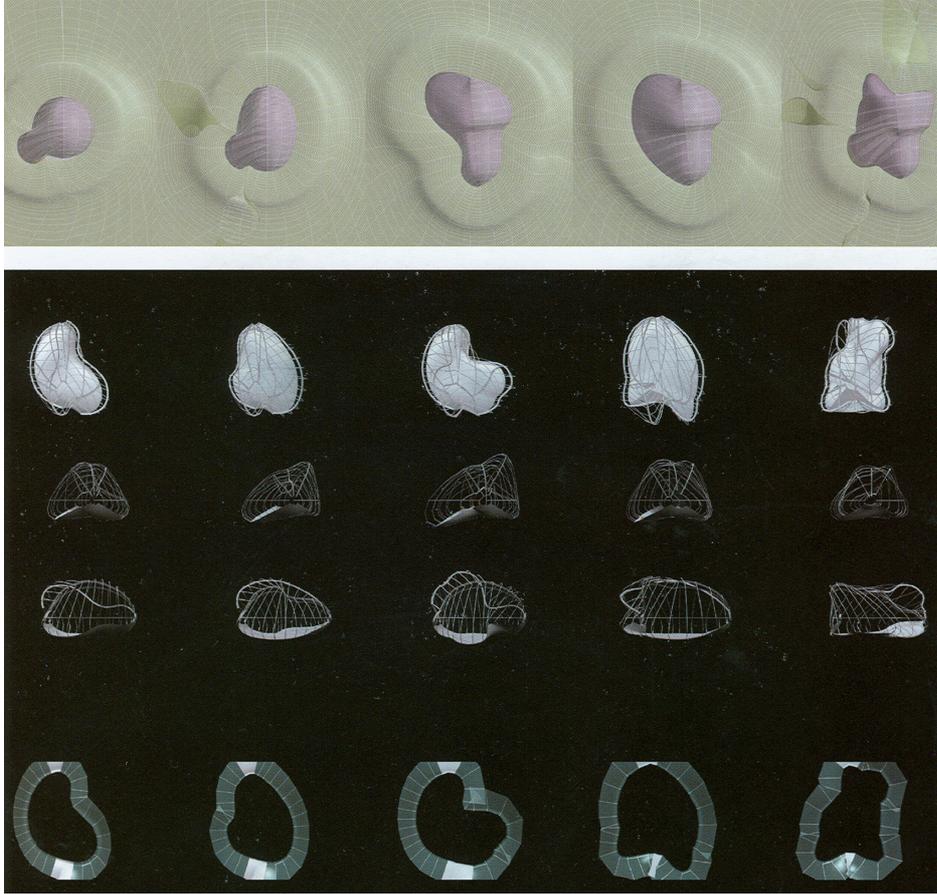
*Fig. 35, Arriba. Diplodocos, Saurópodo más conocido como Doble viga.*

*Fig. 36. Abajo. El Puente del futuro, Marks Barfield Architects, 1988*

## Greg Lynn

Greg Lynn, fue el primer arquitecto en usar el término “arquitectura blob”, más adelante apareció el término “Blobitectura”. Los cuales hacen referencia a un tipo de arquitectura digital con formas curvas que se asemejan a burbujas de agua o jabón. En palabras del mismo Greg Lynn con respecto a la Embryologic House, la cual fue uno de los diseños con los que dio a conocer este tipo de arquitectura digital:

*“La casa embriológica se puede describir como una estrategia para la invención del espacio doméstico que compromete los asuntos contemporáneos de la identidad de marca y variación, de la personalización y la continuidad, de la fabricación y de ensamblajes flexibles, y de lo más importante, una incorregible belleza y estética contemporánea y de voluptuosas superficies ondulantes. La casa embriológica emplea un sistema riguroso de límites geométricos que liberan una expoliación de variaciones interminables. Esto proporciona una sensibilidad genérica común a cualquier casa embriológica al mismo tiempo, ya que nunca dos casas serán idénticas. Esta técnica compromete la necesidad de tener la identidad de marca y variación dentro del mismo sistema gráfico y espacial para cualquier producto globalmente vendido: permitiendo así la posibilidad de la novedad y el reconocimiento. No hay ideal ni una casa embriológica original como cada caso es perfecto en su mutación, los resultados son diferentes unos de otros.”*



*Fig. 37. The Embryologic House, Greg Lynn - Jeffrey Kipnis, 1998 – 1999.*

## CONCLUSIÓN.

En esta primera parte de la tesis hemos visto cómo la analogía con la naturaleza se ha visto plasmada en los trabajos de científicos, filósofos, artistas y arquitectos, siendo esta la fuente de inspiración. ¿Cómo se puede explicar esto? Sin ir más lejos podemos ver cómo la naturaleza es una fuente de desconexión y una de las formas más practicadas de aliviar el estrés y la fatiga en las sociedades modernas. Dar un paseo por el bosque, caminar por la playa o la montaña, nos ayuda a desconectar de estados de ansiedad e inconformidad.

Los seres humanos en general, buscamos este contacto con la naturaleza, ya que nos brinda un tipo de alimentación neurológica que nos hace sentir esta libertad. Por lo tanto, ver como en la historia del arte y la arquitectura se han visto plasmados un sin fin de sistemas extraídos de la naturaleza no es más que una confirmación del impacto y la importancia que representan estas formas geométricas en nuestra psique.

Cabe remarcar que la intención de la tesis es recopilar una serie de trabajos de arquitectos que han representado los sistemas que subyace al proceso de evolución en la naturaleza; más que mostrar los trabajos que buscan representar solamente las formas geométricas de esta misma. En esta primera parte hemos visto algunos trabajos que aunque son un referente para los arquitectos contemporáneos, no dejan de realizar meramente copias de las formas orgánicas. Tampoco es la intención de la tesis, criticar o cuestionar sus trabajos, pero sí resaltar los aspectos que puedan aportar elementos que

ayuden a elevar el proceso de diseño arquitectónico. Invitando a los arquitectos y estudiantes a retomar esta idea ya abandonada, la de reconocer que hay aspectos más sutiles sobre el ser humano y que a través de la arquitectura podemos crear este espacio de conexión. Hemos visto también cómo en algunos casos la intención del arquitecto no era representar una forma específica, como es el caso de Eero Saarinen en la TWA de Washington, que por casualidad o por accidente representó la forma del ave en el aeropuerto.

En la segunda parte de la tesis estudiaremos un poco más el tema relacionado con la analogía genética, la analogía evolutiva; y más específicamente el uso de las técnicas de computación emergente; y también cuáles son los arquitectos más representativos en este ámbito del diseño y creatividad computacional. No deja de ser un paseo por los trabajos desarrollados en la última década sobre computación evolutiva.

**SEGUNDA PARTE**  
*Genética como analogía*

## 2. Genética como analogía

En el capítulo 1 de la tesis tratamos los antecedentes y aspectos históricos más relevantes sobre la inspiración biológica en arquitectura y diseño, tratando de igual manera los aspectos más relevantes de la genética a través de la historia. En el presente capítulo, se tratará la genética como inspiración desde el descubrimiento de la doble hélice por James Watson y Francis Crick hasta nuestros días, y de cómo esta se ha convertido en tema de inspiración en distintos campos de la ingeniería, el diseño y la arquitectura.

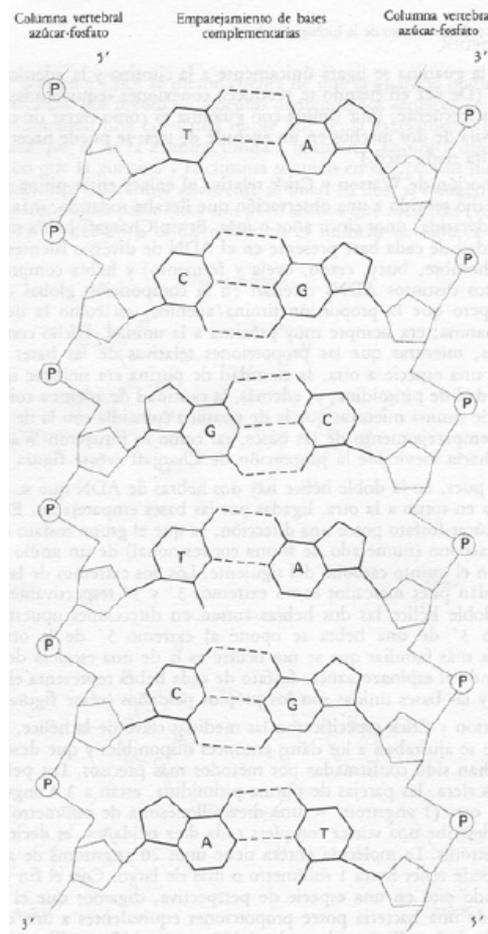
El presente capítulo tiene como objetivo aclarar ciertos aspectos que subyacen a la analogía genética en arquitectura, aspectos que en algunos casos rozan la metáfora. En primera instancia se hace una breve explicación cronológica de los temas más relevantes de la genética, luego se presentarán los temas relacionados con la representación computacional, que en cierta medida son la conexión más cercana a la analogía genética en la arquitectura. Por último se hará un breve repaso sobre los trabajos de los arquitectos que están directamente relacionados con la analogía genética en arquitectura.

Este trabajo presenta ideas y metodologías de un gran número de áreas de investigación como lo son las investigaciones en diseño y creatividad computacional a través de la utilización de algoritmos evolutivos, las investigaciones en ingeniería genética y bioinformática paralelo a los avances en inteligencia y vida artificial.

## 2.1. Antecedentes. De la cadena genética a la ingeniería genética.

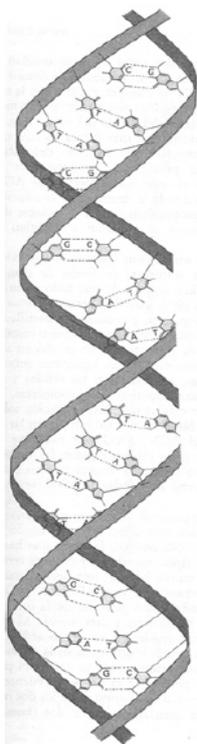
*“Las instrucciones para construir un organismo vivo están escritas en un código de 4 letras, agrupadas en palabras de tres.” (Cherfas, 1982)*

El ADN (Ácido desoxirribonucleico), es como una molécula milagrosa, contiene codificada a lo largo de su longitud, toda la información necesaria para construir y mantener la compleja maquinaria de la célula viva. Además de contener la información necesaria que le permite reproducirse.



*Fig. 1. Emparejamiento de bases complementarias. Las dos hebras de ADN corren en direcciones opuestas, con enlaces de hidrógeno que las mantienen unidas.*

El sistema de la doble hélice del ADN, es la unión tipo piezas de Lego entre las bases que la conforman, dos de ellas, la guanina-adenina, las cuales pertenecen a la clase de compuestos conocidos como purinas y la citosinatimina que reciben el nombre de pirimidias. Ver figura 2.1.



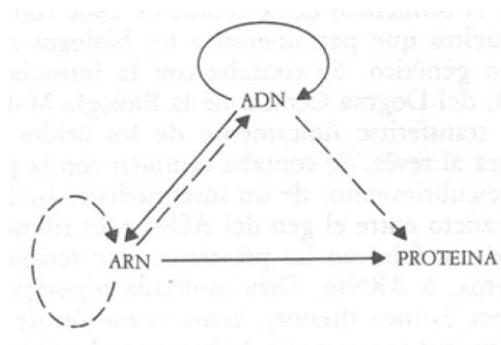
*Fig. 2. La doble hélice. Este diagrama muestra las dos hebras de ADN, cada cinta es como una columna vertebral compuesta de azúcar fosfato, estas permanecen unidas por el enlace entre las bases que se complementan las unas con las otras. La adenina siempre se emparejará con la timina y la guanina siempre se emparejara con la citosina. (Copyright 1977 by Scientific American, Inc.*

La doble hélice está formada por dos hebras de ADN que se enroscan una entorno a la otra, ligadas por las bases emparejadas. En la doble hélice las dos hebras corren en direcciones opuestas (el extremo del 3' carbono de una hebra se opone al extremo del 5' carbono de la otra). Ver figura 2.

En donde hay una A en la primera hebra, habrá una T en la segunda, y una secuencia de CACG siempre se encontrará frente a una GTGC. Cada hebra contiene la información necesaria para crear una hebra complementaria con la que podrá complementarse. Si la doble hélice se desdobra se creará una copia de cada hebra. CACG se unirá con C, T, G, C, y la otra cadena CTGC se unirá con C, A, C, y G.

### El Código

Una vez resuelta la estructura del ADN, el interés de los científicos de la época se centró en descubrir cómo se almacenaba la información, ósea el paso intermedio entre la cadena de ADN (que contenía la información genética) y la construcción de proteínas. La figura 3. Muestra un esquema que representa como se almacena la información ADN - RNAm - Proteína.



*Fig. 3. La información puede pasar entre los dos tipos de ácido nucleico, y desde ambos a las proteínas, pero no puede volver de las proteínas a los ácidos nucleicos. Las flechas de trazo continuo representan transferencias de rutina; las discontinuas, transferencia bajo circunstancias especiales. (Cherfas, 198)*

Francis Crick hizo algunas propuestas al respecto, pero fue el trabajo del bioquímico Fred Sanger (*Departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge, 1955*) el que pudo desvelar esta información (descifrar el código

genético). Las proteínas como los ácidos nucleicos, son bipolímeros, largas cadenas constituidas por sub-unidades (aminoácidos) que se repiten, y aunque existe tal cantidad de aminoácidos posibles solo 20 de ellos son los que conforman las proteínas hechas por las células vivas. Sanger en 1945 emprendió la tarea de intentar descubrir la estructura primaria de una proteína (la hormona de la insulina) después de 10 años de trabajo y 10 gramos de insulina logro descifrar el orden exacto de los 51 aminoácidos que se encargan de producir la insulina de la vaca.

Después del descubrimiento de Sanger hasta la aparición de la Ingeniería genética como ciencia de estudio, se realizaron numerosos trabajos al respecto como los de Charles Yanofsky (Stanford) sobre la decodificación de la bacteria *Escherichia coli*, Sydney Brenner (Cambridge) y sus trabajos con fagos mutantes y Marshall Nirenberg quien diseñó un sistema sintetizador de ADN, libre de células que fabricaba proteínas. Pero el trabajo más concluyente para el inicio de la Ingeniería genética fue el de Matthew Meselson y Robert Yuan (*Meselson, Yuan, 1968*).

*“La enzima de Meselson y Yuan, era técnicamente una endonucleasa, es decir actuaba dentro de una doble de ADN para romperla, en lugar de atacar los extremos.” (Cherfas, 1982).*

A partir de aquí la lista de enzimas descubiertas se fue engrosando, en 1978 se habían descubierto 160 y para 1980 la lista de Richard Roberts (Investigador del *Cold spring harbor laboratory en Long Island, New York*) era de 212. Ciertas enzimas funcionan como escalpelos, cortando el ADN,

dependiendo del interés del ingeniero genético este utilizaría determinada enzima. Este descubrimiento abrió las puertas a la ingeniería genética, ya que una vez se pudiese cortar el ADN, permitiría su manipulación y así poder hacer recombinaciones del material genético dando como resultados nuevos organismos con capacidades especiales (ya que habían sido diseñados). Bioinformática (predicción de plegamiento de proteínas, secuenciación del ADN).

## **2.2. Sobre la analogía genética en computación.**

### **2.2.1. Computación y representación evolutiva**

La genética como inspiración o como analogía puede encontrarse en muchas áreas de estudio, pero para la presente tesis el área más relevante es la relacionada con los sistemas computacionales. En el presente capítulo trataremos la evolución de las analogías genéticas en este campo, enfatizando los aspectos que influyen la analogía genética en la arquitectura.

En la década de 1960, Rechenberg (1965, 1973) introdujo las “estrategias evolutivas”, método que empleó para optimizar parámetros reales para ciertos dispositivos. La misma idea fue desarrollada posteriormente por Schwefel (1975, 1977). El campo de las estrategias evolutivas ha permanecido como un área de investigación activa, cuyo desarrollo se produce, en su mayor parte, de modo independiente al de los algoritmos genéticos. Fogel, Owens y Walsh (1966), fueron los creadores de la “programación evolutiva”, una técnica en la cual los candidatos a soluciones (a ciertas tareas determinadas), eran representados por máquinas de estados finitos, cuyos diagramas de estados de transición se evolucionaban mediante mutación aleatoria, seleccionándose el que mejor se aproximara. Estas tres áreas, estrategias evolutivas, algoritmos genéticos, y programación evolutiva, son las que forman la columna vertebral de la Computación Evolutiva, y de ellas parten los caminos hacia todos los campos de investigación inspirados en estos conocimientos sobre evolución.

En la década de 1960 a 1970 John Holland realiza sus primeros trabajos con algoritmos genéticos. En contraste con las estrategias evolutivas y la programación evolutiva, el propósito original de Holland no era diseñar algoritmos para resolver problemas concretos, sino estudiar, de un modo formal, el fenómeno de la adaptación tal y como ocurre en la naturaleza, y desarrollar vías de extrapolar esos mecanismos de adaptación natural a los sistemas computacionales. Holland (*Holland, 1975*) presentó el algoritmo genético como una abstracción de la evolución biológica, y proporcionó el entramado teórico para la adaptación del algoritmo genético. La mayor innovación de Holland fue la de introducir un algoritmo basado en poblaciones con cruces, mutaciones e inversiones. La principal diferencia del algoritmo genético con las técnicas antes mencionadas, es que utiliza el cruzamiento “*Cross-Over*” como operador principal y la “mutación” como operador secundario y en algún caso opcional.

El algoritmo genético, al igual que las redes neuronales, recibe información como *inputs* y produce las soluciones *outputs* optimizadas. Sin embargo, a diferencia de estas, los algoritmos genéticos no necesitan de entrenamiento de ejemplos (como las redes neuronales), sino que estos, son capaces de generar sus propios ejemplos que guían la evolución a partir de poblaciones totalmente aleatorias o no dependiendo de la cantidad de restricciones-variable “*Fitness*” que sean establecidas.

### 2.2.2. Algoritmos evolutivos

Algoritmos evolutivos (AE) es el nombre dado al conjunto de algoritmos que están basados en el Neo-Darwinismo que es la integración de la teoría de la evolución de las especies por selección natural de Charles Darwin (*Darwin, 1859*), la teoría de la herencia de Gregor Mendel (*Mendel, 1865*) como base de la herencia biológica, la mutación genética aleatoria como fuente de variación y la genética de poblaciones matemáticas. Los algoritmos evolutivos que se basan en esta analogía son: los algoritmos genéticos (*Holland, 1992*), las estrategias evolutivas (*Rechenberg, 1994*), la programación evolutiva (*Fogel, 1996*) y la programación genética (*Koza, 1992*).

Los AE plantean el concepto de población de posibles soluciones a determinado problema. Los individuos de una población son evaluados (*fitness- adaptabilidad*) por su capacidad de adaptación, el individuo con mejores resultados (*mejor adaptación*) será el más capacitado para resolver el problema. Todo esto se desarrolla en ciclo generacional en el que los individuos se ven afectados por factores de recombinación y mutación durante el proceso. La figura 4, muestra el diagrama de flujo de un algoritmo evolutivo, representa un proceso cíclico que termina cuando la mejor solución es encontrada. Se puede decir que un algoritmo evolutivo consta de los siguientes ingredientes:

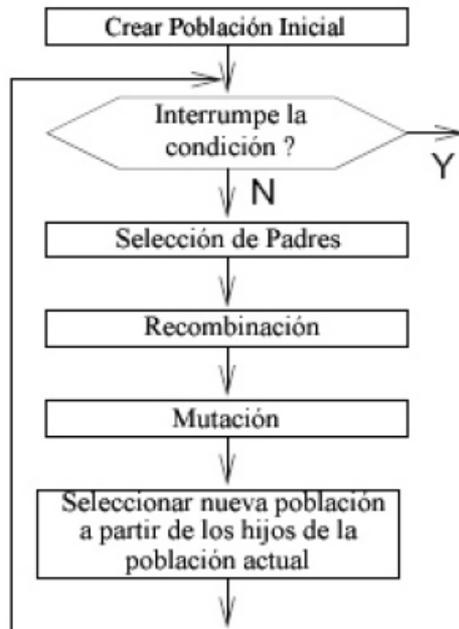


Fig. 4. Diagrama de flujo de un algoritmo genético básico.

Población de individuos: cada individuo representa un punto en el espacio de búsqueda; este punto es definido por un genotipo (conjunto de genes), un individuo equivale a un genotipo y una población equivale a un conjunto de individuos.

Recombinación: la recombinación es utilizada para generar nuevos individuos combinando los genotipos de dos o más individuos (padres) en la población. La operación usual es el operador genético de *Croos-Over* (Cruzamiento), el que forma un nuevo genotipo uniendo las secciones tomadas de los genotipos de los padres. El operador cross-over más simple es el *single-point crossover* mostrado en la figura 5.

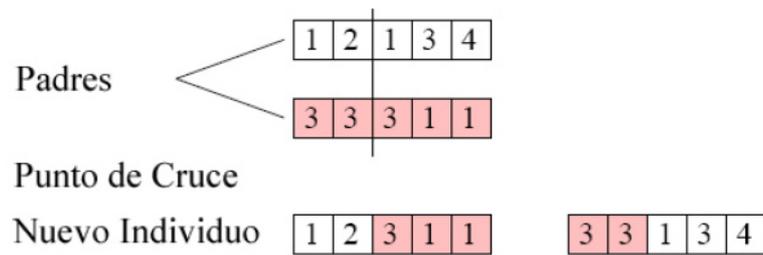


Fig. 5. Operador simple de recombinación (Single-point Cross-Over).

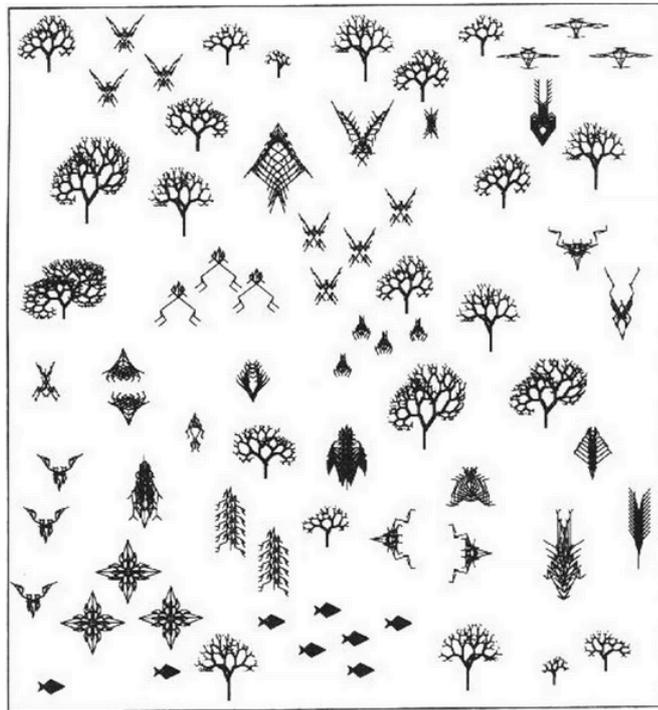
Selección: La selección es utilizada para escoger a los individuos que serán utilizados como padres, y para decidir cuáles individuos en la población sobrevivirán y pasarán a la próxima generación de individuos. Para hacer esto posible es necesario utilizar una función llamada, “*fitness function*”, esta es utilizada para calcular que individuo cumple con la condición óptima (la condición que más se acerca a la solución del problema); individuos con el valor de *fitness* más alto son los que tendrán más posibilidades de ser escogidos como padres y que a su vez tendrá menos posibilidades de ser eliminados de la población.

Mutación: La mutación introduce una variedad adicional dentro del grupo de individuos, al sufrir estos un cambio aleatorio de la ubicación que tengan dentro del genotipo. Este cambio puede ser además un cambio de contenido, eliminación o simplemente perder sus capacidades de funcionamiento (quedar congelado), hasta que una mutación le devuelva esta capacidad (lo despierte). La analogía más relevante para los actuales avances en computación evolutiva son los desarrollados en la ingeniería genética. En

ingeniería genética, el material genético de los organismos vivos es modificado para introducir nuevas características, o para quitar las características no deseadas. Esta técnica ha sido utilizada con mucho éxito en la gran variedad de aplicaciones transgénicas, como en la investigación de la resistencia de las plantas a los pesticidas y en el tratamiento de condiciones médicas en humanos.

La aplicabilidad de éste como una analogía para representaciones en computación evolutiva, llega a ser efectiva cuando se usan genes evolutivos dentro del proceso de búsqueda y de optimización: los genes evolutivos, son diseñados para crear genotipos con un alto grado de adaptación. Incorporando estos genes evolutivos en nuevos diseños pueden ayudar a la optimización de determinados problemas. Trabajos que usan esta analogía se puede encontrar en Gero y Kazakov (1996a). Distinción genotipo-fenotipo

*“...But natural selection doesn't choose genes directly; it choose the effects that genes has on bodies, technically called phenotypic effects. The human eye is good at choosing phenotypic effects, as is shown by the numerous breeds of dogs, cattle and pigeons...” (Dawkins, 1986)*



*Fig. 6. En su libro de 1986 *The Blind Watchmaker*, Dawkins describió *Biomorphs*, un programa de software simple que había escrito para ilustrar el poder de la evolución darwiniana. Su programa, simulaba el proceso evolutivo de una simple criatura parecida a un insecto palo que solo tenía nueve parámetros (o "genes"), que el usuario podía seleccionar. Fue un ejemplo de selección no natural, en la que los rasgos seleccionados para los que se seleccionaron fueron determinados por el pensamiento del usuario. Los nueve parámetros genéticos controlaban la ramificación, la segmentación y la simetría, y cada gen estaba sujeto a una mutación aleatoria. Dawkins estaba asombrado por la variedad de un bio-simulador tan simple (este sector de investigación se conoció como *Vida Artificial* y el software como un tipo de algoritmo genético) podría producir.*

En reproducción natural, se puede establecer una distinción entre genotipo y fenotipo, el genotipo hace referencia al material genético (cromosoma) de un individuo, mientras que el fenotipo hace referencia a su apariencia física. Esta distinción es de gran importancia, ya que los operadores genéticos operan solo en el genotipo, mientras que el fitness de un individuo está determinado por su desarrollo en el fenotipo. Las transformaciones que ocurren durante el proceso genotipo-fenotipo en los sistemas naturales, son



### **2.3. Sobre la analogía y simulación genética en arquitectura.**

A este punto de la tesis en donde ya se han descrito los antecedentes tanto históricos como técnicos que subyacen a la analogía genética en arquitectura, se pretende en este capítulo tratar desde un punto de vista arquitectónico, los aspectos más relevantes de la utilización de estas técnicas. En este apartado además, citaremos los arquitectos que están directamente relacionados con las técnicas evolutivas, y que de una u otra manera han ayudado a establecerlas como herramientas creativas en el proceso de diseño, tanto en escuelas de arquitectura como pequeños despachos.

### 2.3.1. La analogía del “Folding Unfolding” en arquitectura

Está claro que algunos arquitectos están usando la tecnología de la información para relacionar algunos aspectos de la filosofía contemporánea, algunos de ellos se han visto influenciados por los escritos filosóficos de Gilles Deleuze, los cuales hacen énfasis en el reduccionismo y la unidad orgánica, estrategias rizomica, folding y cuerpos sin órganos.

*“Biology had to take a leap into molecular biology, or dispersed life regroup in the genetic code. Dispersed work had to regroup in third-generation machines, cybernetics and information technology: What would be the forces in play, with which the forces within man would then enter into a relation? It would no longer involve raising to infinity or finitude but an unlimited finity, thereby evoking every situation of force in which a finite number of components yields a practically unlimited diversity of combinations. It would be neither the fold nor the unfold that would constitute the active mechanism, but something like the superfold, as borne out by the foldings proper to the chains of the genetic code, an the potential of silicon in third-generation machines, as well as by the contours of a sentence in modern literature, when literature merely turns back on itself in an endless reflexivity” (1)*

Una proteína es la expresión de un ADN, compuesta de una larga cadena de aminoácidos, se pliega (*Folding*) en una estructura tridimensional dando resultado a una proteína funcional o una enzima. El ADN se despliega (*Unfolding*) en el momento de activación de genes o en la duplicación del mismo ADN.

Debido a los avances en gráfica computacional y las investigaciones de Iván Sutherland y Cyrus Levinthal (creador del programa CHEMGRAF) la biología pudo profundizar en el campo de la microbiología, el poder recrear, predecir, clasificar, y secuenciar gráficamente los procesos de la genética, ha trasladado el mundo de los flujos y plegamientos (Folding) en biología, al mundo de la información digital. Gracias a estos avances el concepto de “Folding - Unfolding” no solo puede usarse teóricamente sino que además puede formar parte dentro del proceso de diseño.

#### **2.3.1.1. Rebstock Park Peter Eisenman (2003)**

En el proyecto *Rebstock park* (Frankfurt 2003), Peter Eisenman toma la analogía de la teoría del “Folding - Unfolding”, influenciado por la filosofía Deleuziana y sobre todo por el advenimiento de las nuevas técnicas de representación heredadas en la arquitectura gracias a los avances en biología computacional. Con respecto a estos Eisenman ha efectuado una de las afirmaciones más claras sobre el interés o motivaciones que comparten los arquitectos con la gráfica computacional, en su ensayo “*Visions Unfolding: Architecture in the age of electronic media*”. Eisenman habla sobre la actual crisis del arte:

*“During the fifty years since the second world war, a paradigm shift has taken place that should have profoundly affected architecture: this was the shift from the mechanical paradigm to the electronic one. This change can be simply understood by comparing the impact of the rule of the human subject on such*

*primary modes of reproduction as the photograph and the fax; the photograph within the mechanical paradigm, the fax within the electronic one.*

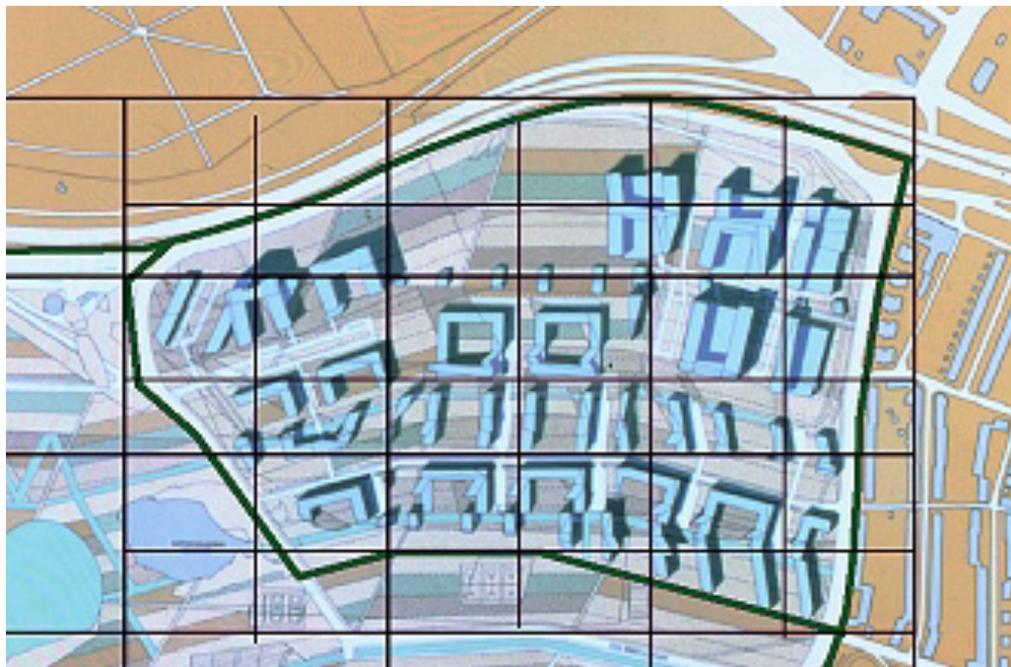
*In photographic reproduction, the subject still maintains a controlled interaction with the object. A photograph can be developed with more or less contrast, texture or clarity. The photograph can be said to remain in the control of human vision. The human subject thus maintains its function as interpreter, as discursive function. With the fax, the subject is no longer called upon to interpret, for reproduction takes place without any control or adjustment. The fax also challenges the concept of originality: While in a photograph the original reproduction still retains a privileged value, in facsimile transmission the original remains intact but with no differentiating value since it is no longer sent.*

*The mutual devaluation of both original and copy is not the only transformation affected by the electronic paradigm. The nature of what we have come to know as the reality of our world has been called into question by the invasion of media into everyday life. For reality always demanded that our vision be interpreted...” (2)*

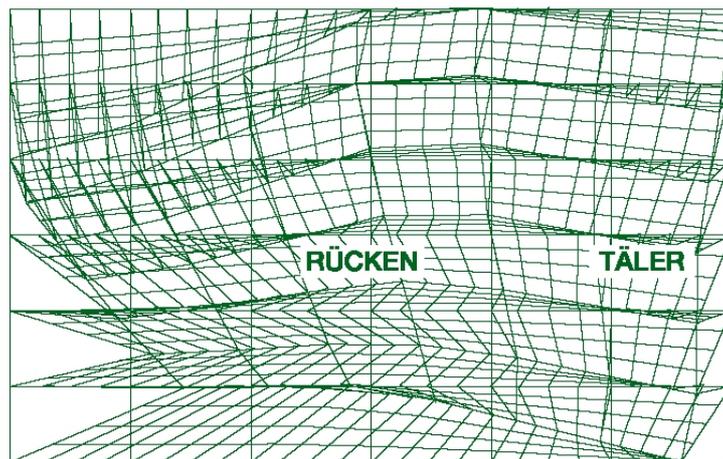
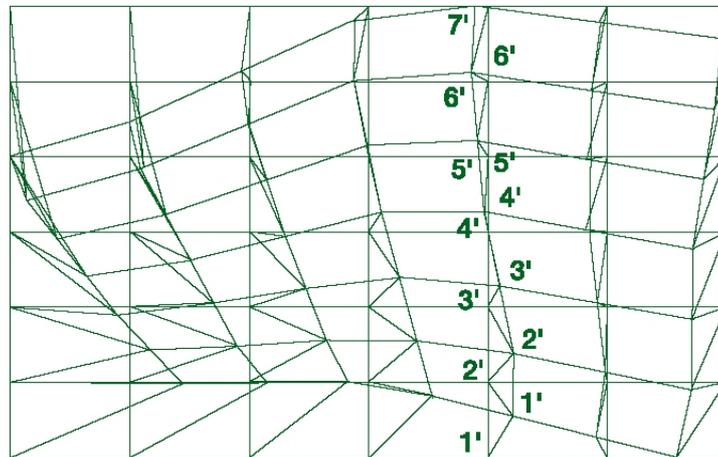
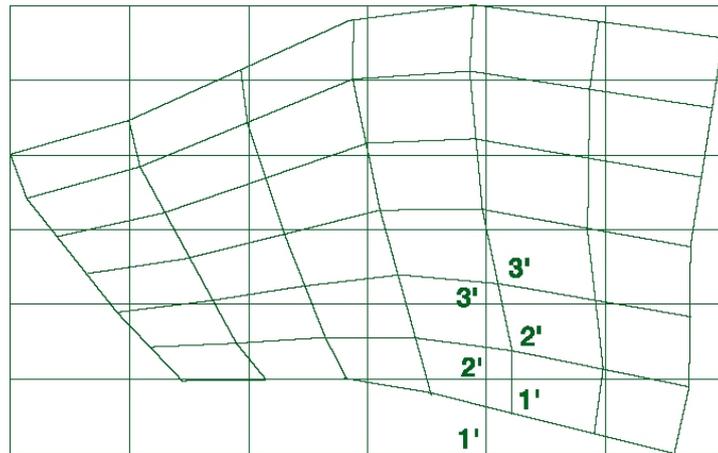
*“... Suppose for a moment that architecture could be conceptualized as a Moebius strip, with an unbroken continuity between interior and exterior. What would this mean for vision? Gilles Deleuze has proposed just such a possible continuity with his idea of the fold. For Deleuze, folded space articulates a new relationship between vertical and horizontal, figure and ground, inside and out—all structures articulated by traditional vision. Unlike the space of classical vision, the idea of folded space denies framing in favor of a temporal modulation. The fold no longer privileges planimetric projection; instead there is a variable curvature. Deleuze’s idea of folding is more radical than origami, because it contains no narrative, linear sequence; rather, in terms of traditional vision, it contains a quality of the unseen.*

*Folding changes the traditional space of vision. That is, it can be considered to be effective, it functions, it shelters,, it is meaningful, it frames, it is aesthetic Forting also constitutes a move frons effective to affective space. Folding is not another subject expressionism, a promiscuity, but rather unfolds in space alongside of its functioning and its meaning in space - it has what might be called an excessive condition or affect. Folding is a type of affective space which concerns those aspects that are not associated will, the effective, that are more than reason, meaning and function...”(3)*

La topología del *folding* se convierte en la primera solución lógica para la propuesta urbana de *Rebstock*, por lo tanto Eisenman, proyecta el plano original de los *Siedlung* sobre esta cuadrícula plegada conllevando a que las unidades habitacionales siguiendo las nervaduras del pliegue se auto ajusten a la nueva topografía. Planteada por la malla o cuadrícula.



*Fig. 8. La figura muestra la propuesta para Rebstock Park (Frankfurt 2003)*

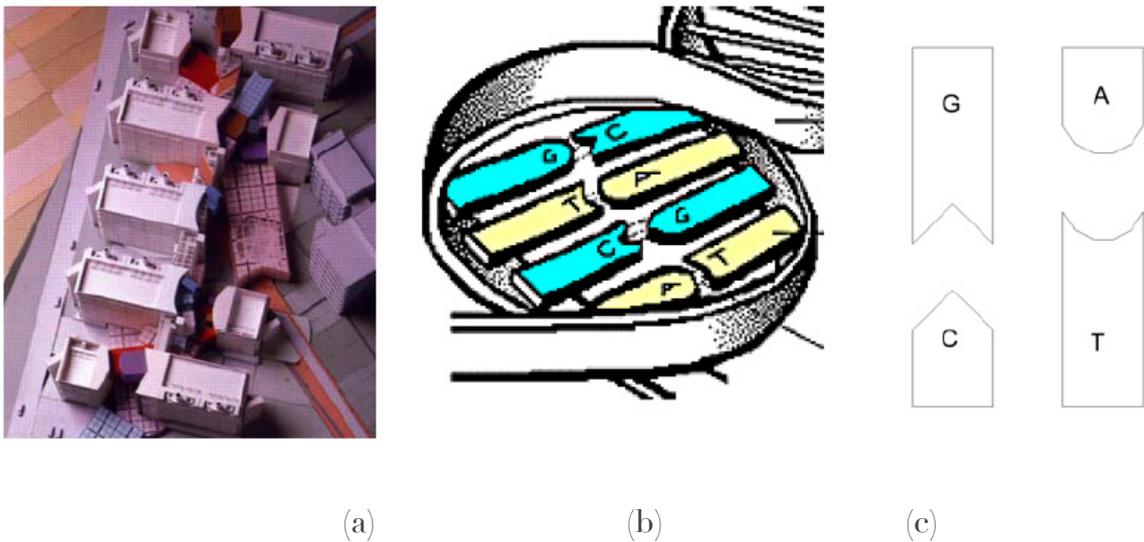


*Fig. 9. Rebstock Park, Peter Eisenman 1992. El arquitecto pliega la topografía existente sobre una malla ortogonal haciendo la analogía del Folding.*

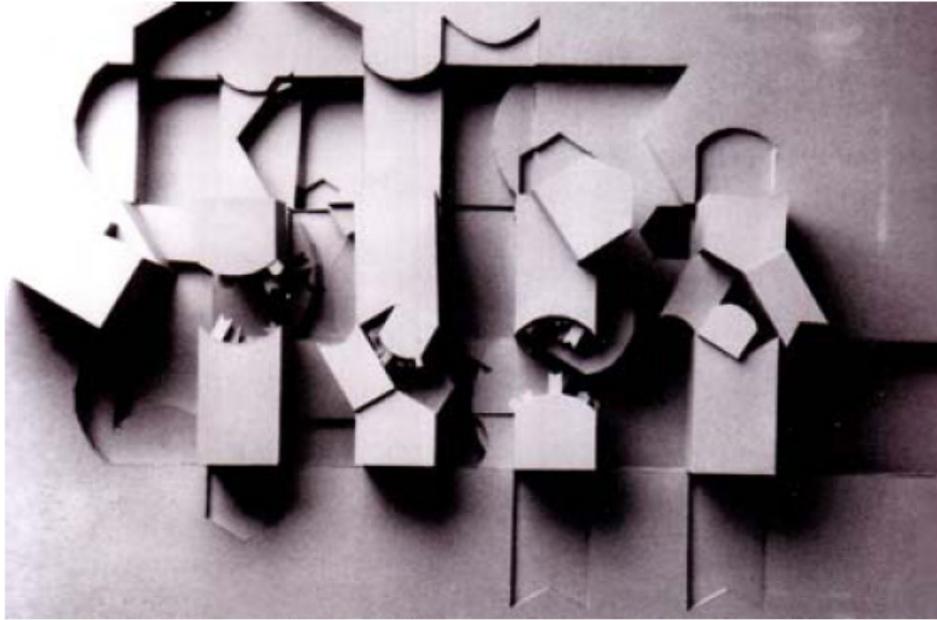
### 2.3.2. La analogía del código genético

Biocentrum Peter Eisenman 1999.

Eisenman genera la idea formal del edificio, manipulando formas que representan los cuatro elementos de la estructura del ADN: la Adenina (A), la Guanina (G), la Cuanina (C) y la Tiamina (T). Asignando cada uno de los códigos a un símbolo formal: Arco (A), cinta (G), pentágono (C), y en cuña (T) así Eisenman una estos códigos para articular el diseño del Biocentrum



*Fig. 10. (a) Propuesta para el Biocentrum (1996) (b) gráfico del ADN, (c) cuatro formas usadas como analogía de aminoácidos. (Peter Eisenman Diagram Diaries, Universe Publishing, New York, PP. 43)*



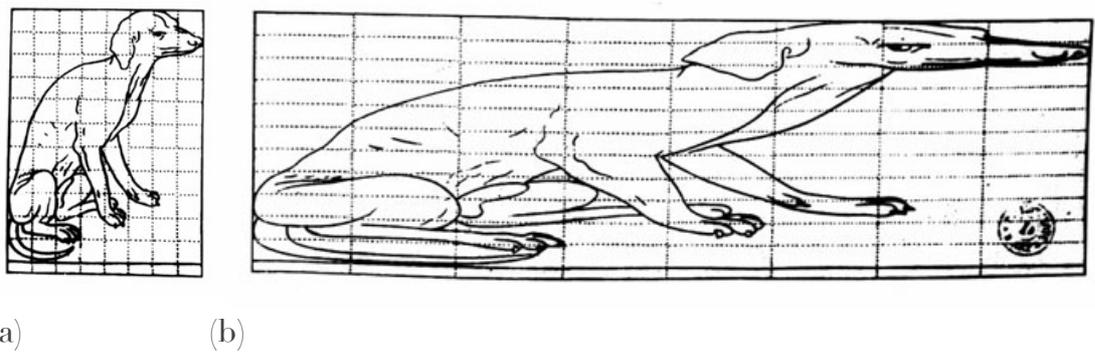
*Fig. 11.. Modelo de la propuesta. Biocentrum Peter Eisenman (1996). (Peter Eisenman Diagram Diaries, Universe Publishing, New York, PP. 43)*

### 2.3.3. Analogía genética a través de procesos morfológicos.

#### 2.3.3.1. Analogía de la deformación. Anamorfosis familias y linaje.

Para hablar de deformación tendríamos que remitirnos al trabajo de anamorfosis realizado por Piero de la Francesca sobre perspectivas, y al de Hans Holbein aún más conocido, como es su obra titulada Los Embajadores (1533 Galería nacional de Londres), en este caso la intención era distorsionar la imagen de una calavera.

La palabra anamorfosis viene del griego transformar, y es precisamente en este proceso de transformación en donde se puede dar lugar a múltiples variaciones. Uno de los ejemplos más claros de deformación en anamorfosis es el trabajo publicado por Samuel Marolois (1630) sobre la anamorfosis de un perro.



*Fig. 12. Anamorfosis de un perro publicad por Samuel Marolois (1630)*

La imagen (a) muestra el dibujo de un perro sobre una cuadrícula de 1 x 1, aplicada la anamorfosis en la figura (b), se puede ver la deformación en una proporción de 3 a 1.

Pero a su vez citar también el trabajo de Alberto Durero (1528) en el que usa un método geométrico muy particular para describir las proporciones de las caras humanas, dibujándolas también en una cuadrícula o rectángulo, en la que marcaba las características específicas de cada una como eran la nariz, los ojos, los labios, las orejas, las cejas etc. Lo interesante del proceso de Durero era precisamente como a través de la alteración de las distancias en cada cuadrado podría obtener una serie de caras diferentes.

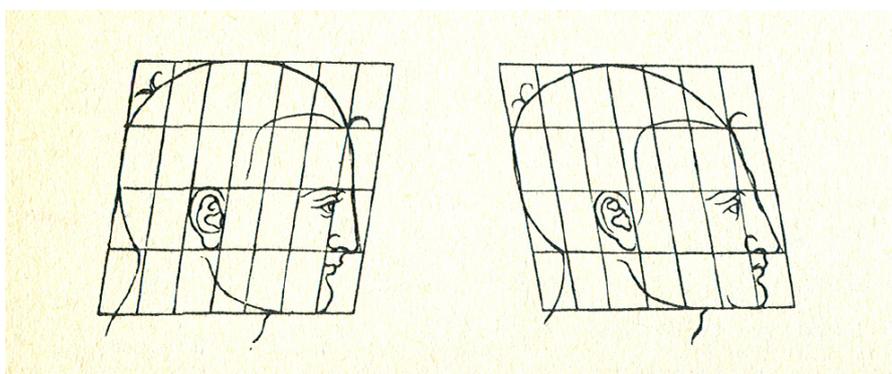


Fig. 13. Diferentes caras producidas por el cambio de dimensiones en los espacios de la cuadrícula (Durero, 1528).

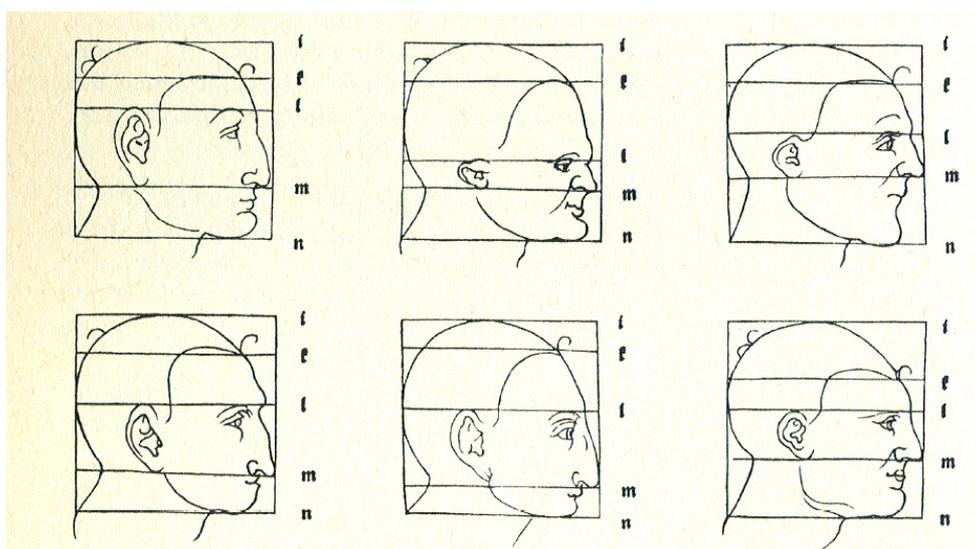


Fig. 14. Diferentes caras producidas por el cambio de ángulo entre las coordenadas de la cuadrícula (Durero, 1528).

La misma idea es utilizada por *D'Arcy Wentworth Thompson* en el capítulo “*On the theory of transformations, or the comparisons of related forms*” en su libro sobre morfologías biológicas (Thompson, 1961).

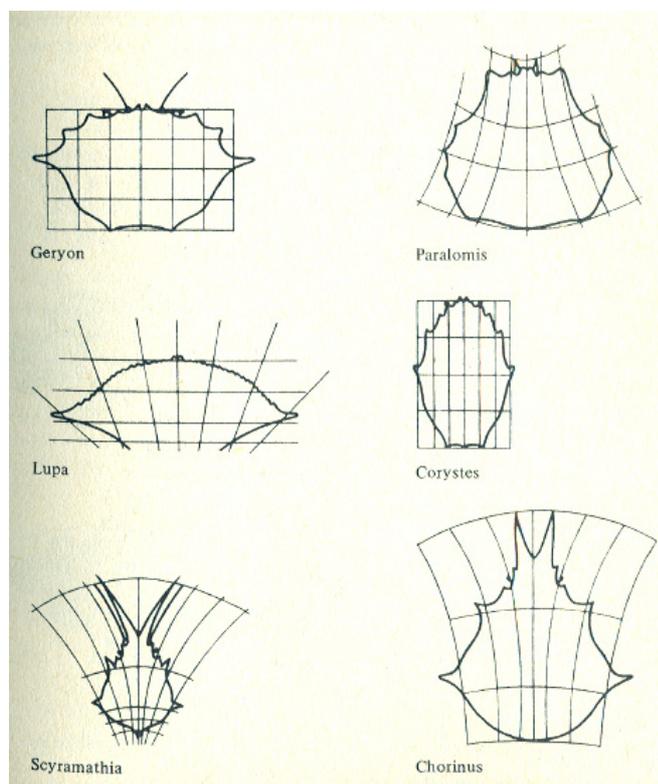


Fig. 15. Caparazones de varios cangrejos, relacionados a través de su forma por D'Arcy Thompson (Thompson, 1961).

Precisamente citando a Alberto Durero y a D'Arcy Thompson, podríamos también citar el trabajo de Philip Steadman, quien en su libro “*Architectural Morphologies, an introduction to the geometry of building plans*” (1983) introduce un sistema de generación de plantas arquitectónicas siguiendo las mismas idea de la deformación usadas por Durero y por Thompson. Aquí podemos también ver la clara influencia de los trabajos en

botánica de Goethe, sobre las modificaciones morfológicas de las plantas partiendo de una planta modelo o arquetípica.

*“It is concerned centrally with the limits which geometry places on the possible forms and shapes which buildings and their plans may take. The use of the term ‘morphology’ alludes then to Goethe’s original notion, of a general science of possible forms, covering not just forms in nature, but forms in art, and especially the forms of architecture.” (4)*

El sistema propuesto por Steadman, consistía en aplicar la misma metodología que Durero en las deformaciones de las caras. Cambiando la información de cada uno de los rectángulos (genotipos) le permitía jugar con valores dimensionales que daban como resultado nuevos modelos o fenotipos.

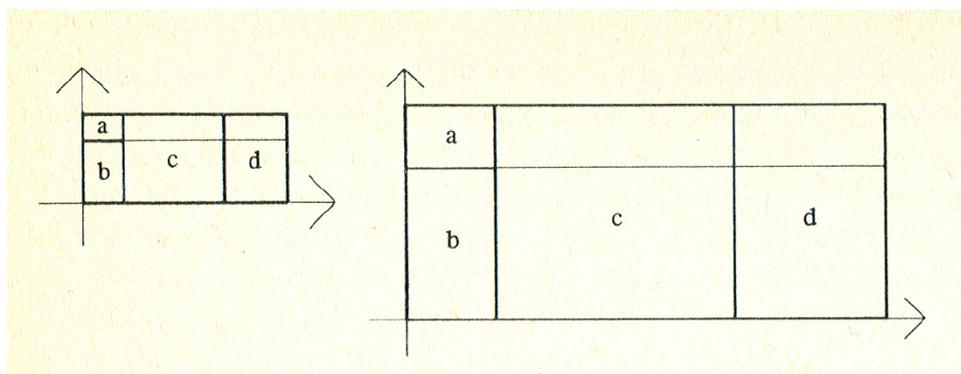


Fig. 16. Esquema de planta arquitectónica, primera deformación, Steadman, 1983.

Partiendo de una planta tipo, se aplicarían cambios de dimensiones y de coordenadas con la idea de obtener el mayor número de variaciones:

*“It will be seen that in this way an infinite number of particular plans might be produce, all of which would, however, share the same essentials four-room ‘shape’.” (5)*

El hecho de aplicarle a una planta arquitectónica ya existente, una serie de modificaciones geométricas, limitado estas a una serie de restricciones de habitabilidad mínima, por ejemplo dimensiones mínimas y máximas al igual que puntos estratégicos como la chimenea a los que se les limitaba a un espacio central, permitía crear una población de plantas partiendo así de una planta modelo. Al igual que en genética realizando mutaciones y combinaciones dentro de una misma especie.

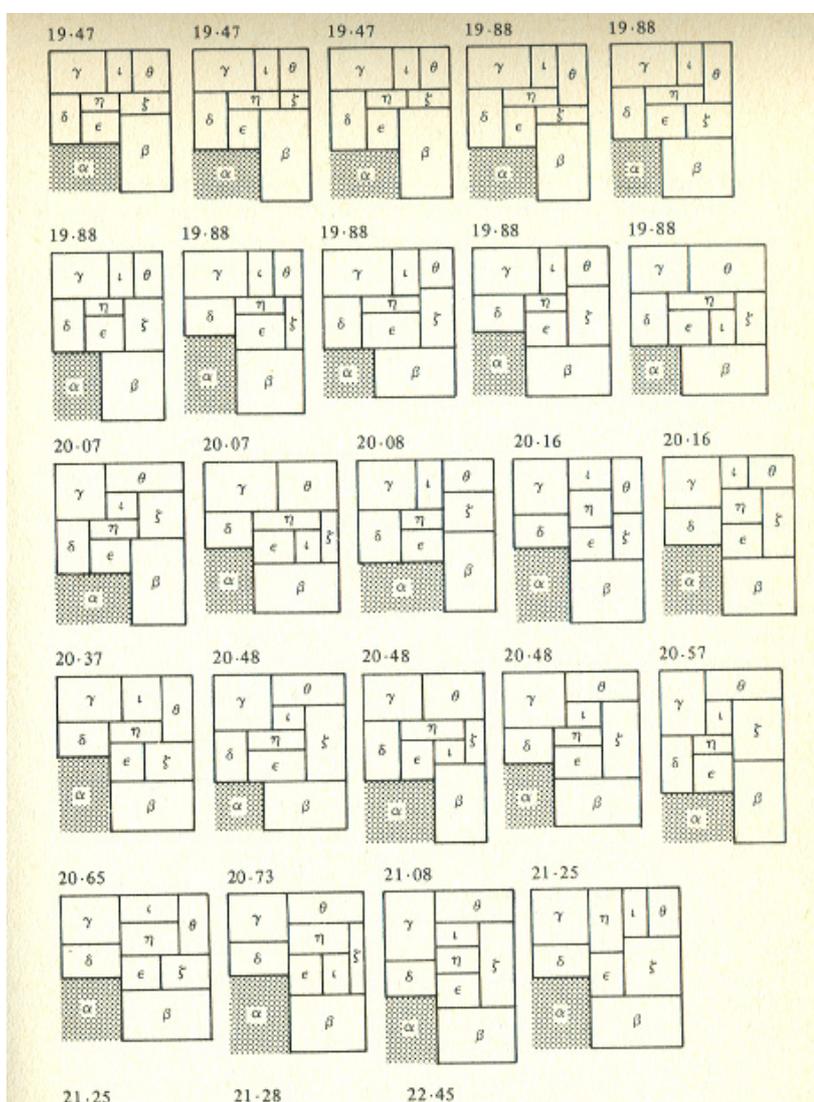


Fig. 17. Familia de plantas generadas a partir de una única planta arquitectónica.

Las mutaciones y recombinaciones serían los cambios de dimensiones de cada uno de los rectángulos (que representan espacios de una casa modelo). Usando un algoritmo genético se obtendrían miles de soluciones.

### 2.3.3.1.1. Las deformaciones en la obra de Enric Miralles

Montserrat Bigas en su tesis doctoral, hace la siguiente referencia sobre las deformaciones en la obra de Enric Miralles quien con gran admiración cita el trabajo de D'Arcy Thompson de esta manera:

*“En todas las lecturas en las que se sigue proponiendo que la armonía del mundo se manifiesta en la forma y en el número, siempre hacia el final aparece D'Arcy Wentworth Thompson con su libro “On growth and form”, de 1961. Su trabajo tiene similitudes con el de un cartógrafo. Observa como los sistemas de elementos naturales pueden ser transformados unos en otros... Trabaja sobre las superficies de un modo aproximado. Comprueba la posibilidad de adaptación de unas superficies en otras sin producirles cortes ni rasgaduras. Su ojo se afina en buscar afinidades. Pero no mediante saltos o desplazamientos, sino por la continuidad de una deformación... No se producen cortes, los elementos no son divisibles... En su último capítulo, sobre la teoría de las transformaciones, que es un análisis comparado de elementos afines, se desarrollan estos esquemas que siguen el estudio estático de las deformaciones de los cuerpos... Así aparecen estos diagramas de transformaciones aplicadas sobre cuerpos en crecimiento. En estos diagramas “obtendremos una nueva figura que representa el resultado obtenido sobreponiendo la figura primitiva a una deformación, más o menos homogénea, cuya función respecto a las nuevas coordenadas es exactamente la misma que la primera figura tenía sobre las coordenadas X e Y...”*

*Es una geometría que se aplica sobre lo real y que no tiene su equivalente en el cálculo; muy vagamente se hace referencia a una cierta deformación logarítmica... Pero es una geometría aproximada, que se dedica a reconocer las cosas. A buscar similitudes y que se basa en el dibujo como instrumento de medida. En su capacidad de plegarse y tomar cualquier material y darle una orden a través de su repetición y deformación... sin embargo en este proceso no aparece la serie... hay que descubrir rasgos diferencias... propongo al lector hacer el siguiente ejercicio práctico en tres fases:*

*Paso 1. La propia superficie del coche es capaz de recoger la imagen reflejada de la ciudad. Registrar este material*

*Paso 2. Transformar estos registros en materiales para cerrar un recinto.*

*Paso 3. Buscar un cliente.*

*Nota: El que teníais al comenzar seguro que ha desaparecido” (5)*

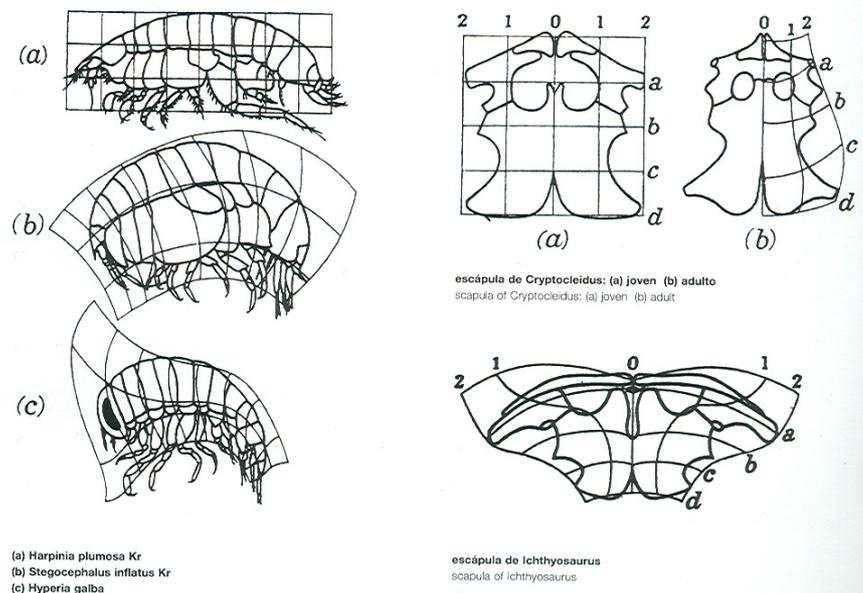


Fig. 18. Imagen de D'Arcy Thompson del libro *On growth and form* (1961) a la que Miralles hace alusión en la anterior cita.

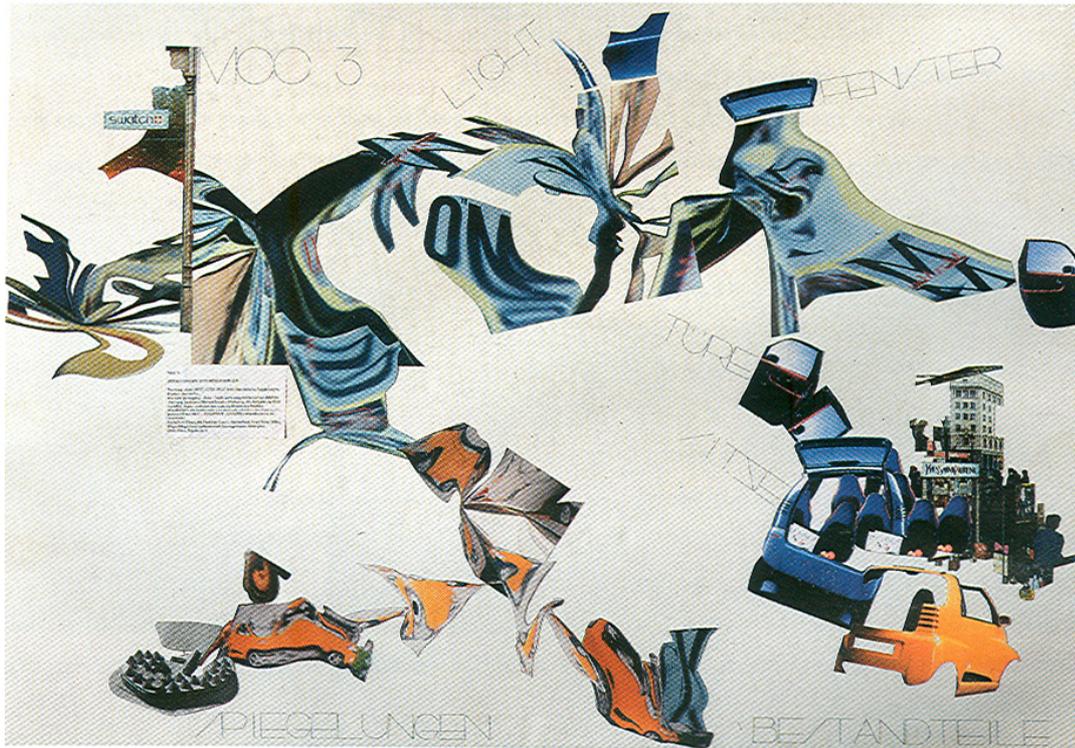
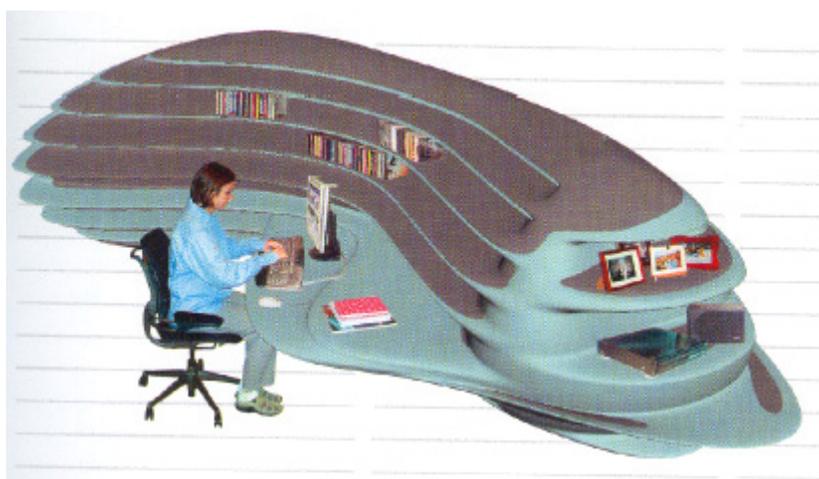
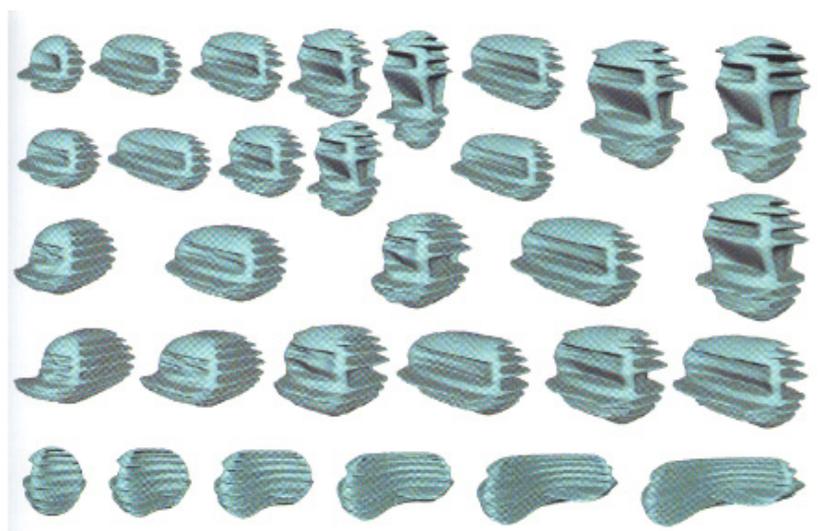


Fig. 19. Collage para el proyecto *Concepto para una oficina de venta de automóviles*, *El Croquis* n° 72. Enric Miralles, pp. 127.

### 2.3.3.1.2. Las deformaciones a través del diseño paramétrico

Es indiscutible que en estos años el dominio de las tecnologías informáticas no solo ha llevado al proceso de diseño arquitectónico a nuevos contenidos y estímulos que conllevan a una investigación, sino que también desembocan en un replanteamiento de muchos procesos dentro del proyectar arquitectónico. En relación con la analogía genética el proceso de diseño a través del diseño “paramétrico asociativo y variacional”, es para muchos arquitectos una herramienta indiscutible. En el trabajo de Bernard Cache (*Objectile*) aunque es un trabajo más de mobiliario, el desarrollo del diseño consiste en crear un modelo paramétrico, donde al igual que los ejemplos de

Phillip Steadman, D'Arcy Thompson y Alberto Durero, partiendo de un modelo parametrizado y realizando variaciones geométricas, se obtienen un sinnúmero de resultados al igual que la clasificación taxonómica de especies, al igual que la clasificación por familias y al igual que en el proceso de mutación, combinación y recombinación de códigos genéticos en el ADN



*Fig. 20. Proyecto Tadpole (2002) Paul Andersen (Greg Lynn & Hani Rashid, Architectural Laboratories, 2002). La primera imagen muestra un número de posibilidades partiendo de un único modelo, la segunda imagen muestra el modelo seleccionado por el diseñador.*

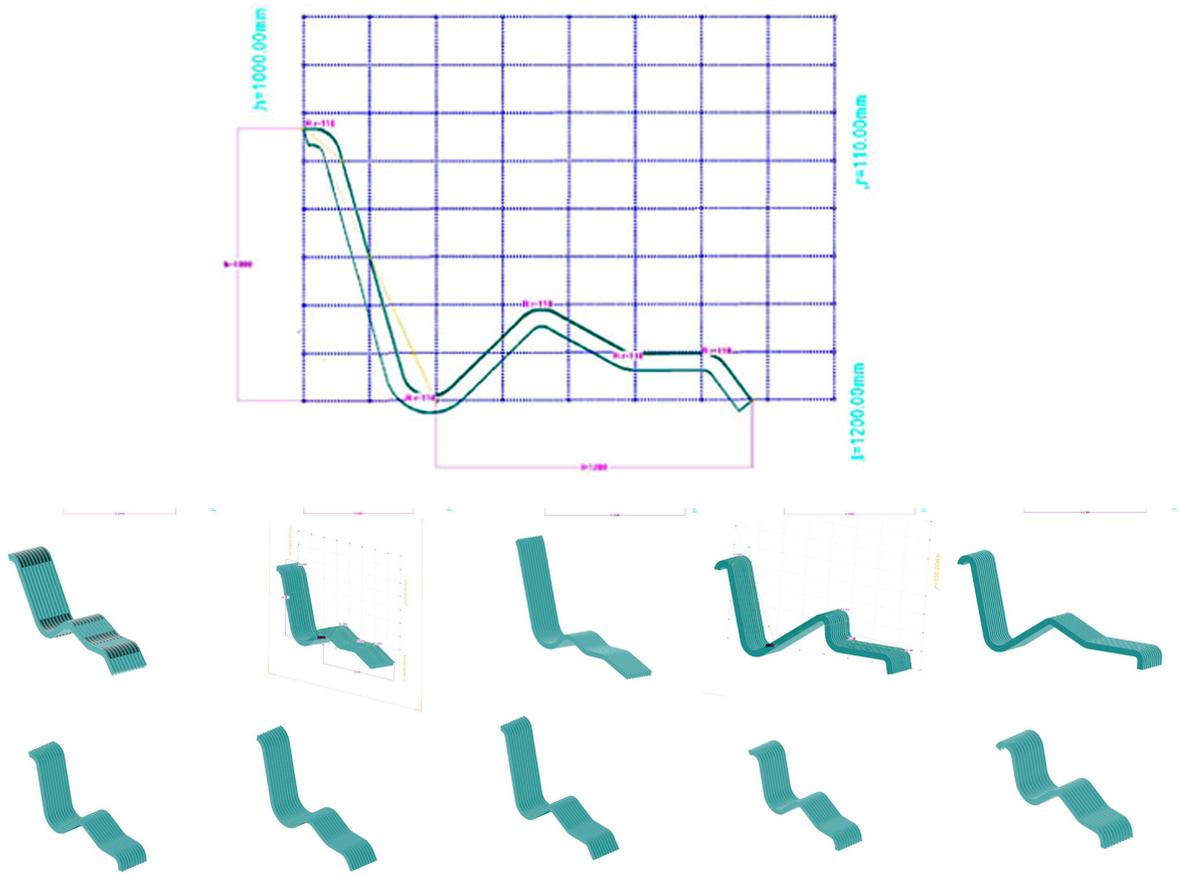


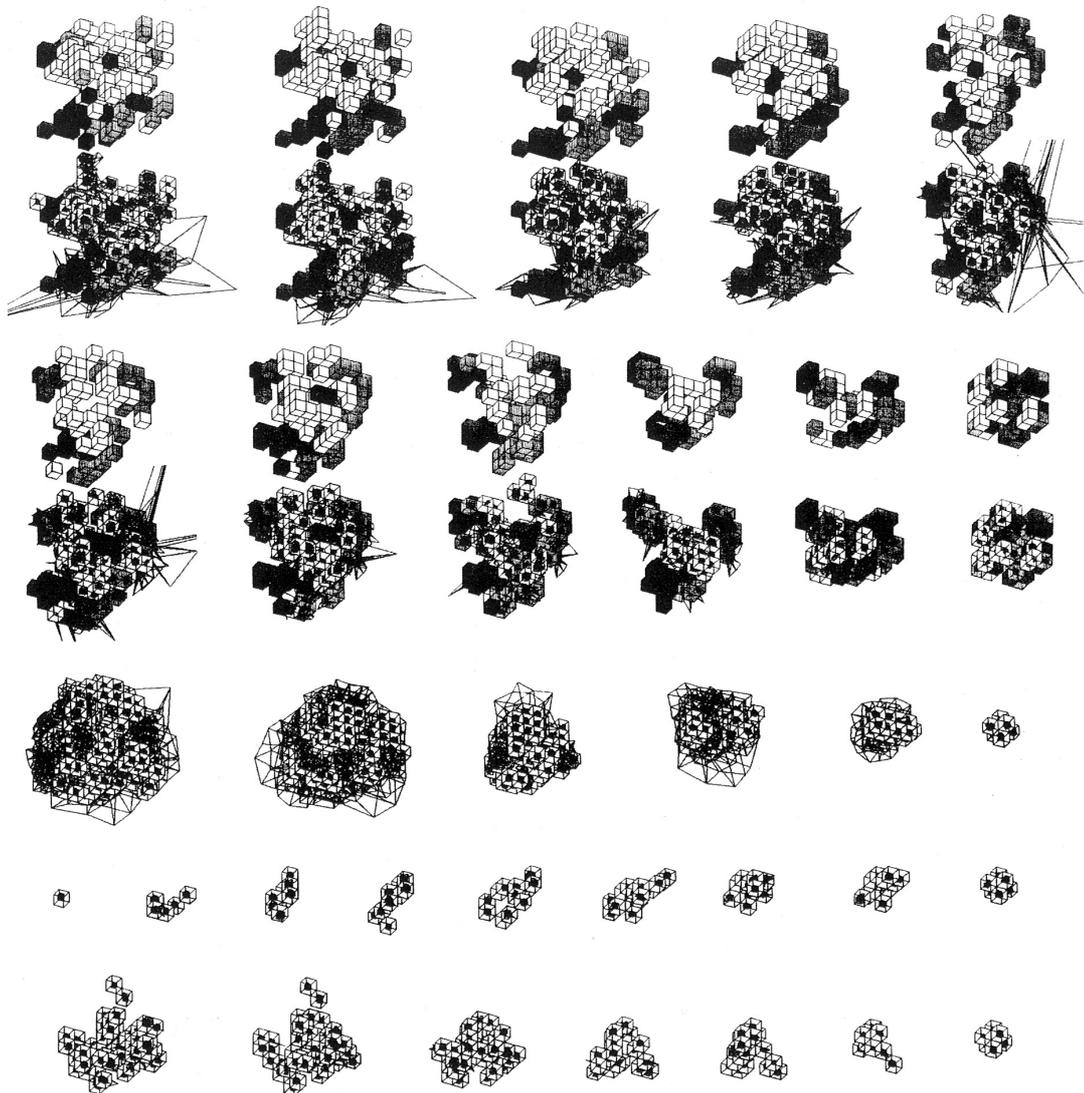
Fig. 21. La imagen muestra el modelo paramétrico, imagen de abajo múltiples modelos después de realizar las modificaciones. *Silhouette Chair* – Natalia Botero Master en Arquitecturas Genéticas – (2002).

#### **2.3.4. La analogía de la combinación, mutación y aleatorización a través de medios digitales**

### 2.3.4.1. Arquitectura evolutiva: John Frazer

Sin duda alguna, uno de los pioneros en el uso de los algoritmos genéticos y procesos evolutivos en arquitectura es John Frazer (*Architectural Association, 1960*). En su libro “*An Evolutionary Architecture*” transmite su interés por los procesos emergentes y de carácter evolutivo, planteados como una ayuda al proceso de diseño. Frazer investiga fundamentalmente los procesos de generación de formas en la arquitectura, paralelo a una búsqueda de la teoría de la morfogénesis dentro del mundo natural. Frazer además logra reunir aspectos importantes en los avances sobre inteligencia artificial. Este trabajo es el resultado de una investigación que inició en la década de los sesentas. En este trabajo Frazer logra no solo crear un lenguaje de programación (SPL) para su propuesta sobre arquitectura evolutiva, sino que además desarrolla trabajos de tipo Hardware, específicos a cada necesidad:

*“An Evolutionary Architecture investigates fundamental form-generating processes in architecture, paralleling a wider scientific search for a theory of morphogenesis in the natural world. It proposes the model of nature as the generating force for architectural form. The profligate prototyping and awesome creative power of natural evolution are emulated by creating virtual architectural models which respond to changing environments. Successful developments are encouraged and evolved. Architecture is considered as a form of artificial life, subject, like the natural world, to principles of morphogenesis, genetic coding, replication and selection. The aim of an evolutionary architecture is to achieve in the built environment the symbiotic behaviour and metabolic balance that are characteristic of the natural environment”.* (7)



*Figura 22. Tree-Dimensional Classifier System (1992), el modelo responde a inputs del entorno, y evalúa las respuestas, las señales del entorno pueden ser tomadas por una antena de comunicación, y con el interactivo universal, una respuesta o input son transmitidos a través de una antena. La naturaleza de la respuesta está basada en un feedback y las respuestas más detalladas son desarrolladas gradualmente.*

Dentro de sus principales proyectos se incluyen *The reptile* que consistía en un sistema estructural que incorporaba las nociones de crecimiento y de evolución. La estrategia básica fue la de simular el crecimiento de una semilla,

utilizando un pequeño conjunto de triángulos en forma de mosaico que se encajaban unos a otros (*The reptile, Frazer, 1991*).

En el proyecto *The Generator*, Frazer utiliza la electrónica insertándola en cada componente para crear un edificio con inteligencia distribuida. El resultado fue un espacio reconfigurable que respondía a distintas necesidades. Su proyecto más fascinante fue “*The Universal Constructor*”, consistía en un modelo de trabajo auto-organizativo que interactuaba con el medio ambiente. El proyecto era un modelo físico de autómatas celulares, realizado a través de cubos que podían responder tanto con el entorno en que estaba emplazado como con los inputs que transmitía el usuario. Frazer ha planteado también la idea de herramientas que ayuden al proceso creativo (*Frazer et al, 2002*) y ha acentuado el uso de la exploración a través de la computación evolutiva antes que su uso para la optimización (*frazer, 1991, 2002, 2006*).

En la aplicación de los algoritmos genéticos a los problemas de diseño, las variantes de diseño son tratadas como miembros de una población de soluciones posibles, que deberán llegar a la sobrevivencia como en la analogía de la evolución. La evolución es tratada en dos fases; reproducción y selección, la reproducción significa que los miembros de un grupo o población, se aparean y generan un hijo. La selección significa que la velocidad de reproducción, depende de la capacidad de adaptación de cada individuo.

El trabajo de Frazer es un precedente para los arquitectos que proponen una genética como medio de inspiración, ya que él incluye tanto la

técnica computacional, como los conceptos que hacen analogías con la genética. Actualmente Frazer coordina el grupo internacional de investigación de *Gehry technologies digital practice ecosystem*. También forma parte del grupo de selección de *Generative Art Conferences*, evento que reúne cada año tanto estudiantes como profesores de diferentes universidades. Exponen trabajos relacionados con el arte generativo tanto en diseño como en arte, poesía, música, arquitectura, etc. Este evento surge con la creación del *Laboratorio di progettazione generativa del* politécnico de Milano, dirigido por Celestino Soddu.

#### 2.3.4.2. Espacio Genético: Karl. S. Chu

Otro exponente del desarrollo de algoritmos evolutivos en arquitectura, es Karl S. Chu, autor del término espacio genético. El interés de Karl S. Chu, por las técnicas evolutivas, radica en su interés por estructurar una teoría filosófica sobre la arquitectura genética, en la que conceptos como monadología (Leibniz), creación de mundos y genética se ven entrelazados.

*“The use of the term monadology is based on the Fact That genetic architecture is an extension and transformation of some of the propositions, especially those that define attributes and properties of relationships among monads, contained in Gottfried W. Leibniz’s Monadology, albeit without its theogony; into an architectural theory of world making.”(8)*

Para Chu, una mónada (*BIT en términos computacionales; Chu, 2005*) en arquitectura genética sería el elemento más pequeño (*estructura simbólica*) que con las características genéticas intrínsecas, pudiese autoduplicarse y generar así una verdadera réplica de los procesos naturales que a su vez pudiesen generar una variedad de mundos posibles.

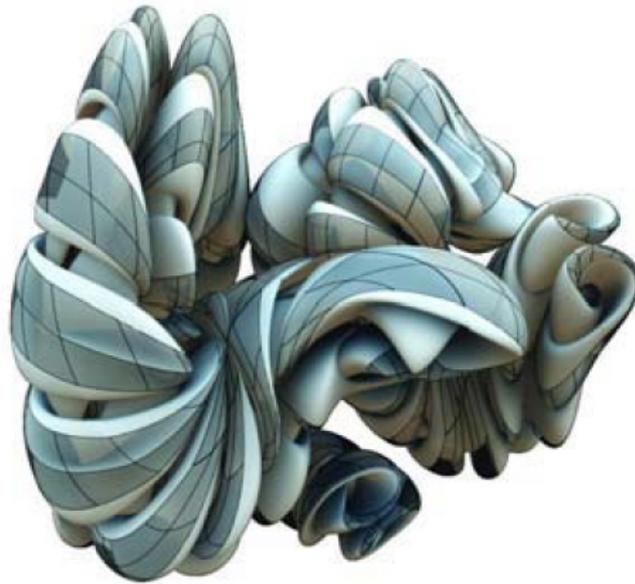
Basado en la idea de la “Arquitectura de von Neumann” (considerándola como una de las precursoras de la arquitectura de un sistema genético), en la que una máquina (*robot*) pudiese fabricarse así misma, autocopiándose y autoconstruyéndose, Chu logra dar respuesta a lo que según su visión de las técnicas evolutivas representa una carencia que las aleja de los procesos naturales.

*“Each Monad can be a genotype, a unit of self-replicating system or a phenotype as a collective ensemble with a global morphology. As genotypes, monads exist on the plane of content, and as phenotypes, they are they expressions on the plane of expression of micro-monadic interactions. As such, monads exist at various scalar and specification regimes of organization: an object, an aggregation of objects, a building, a group of buildings, a proto-species of genetic architecture, a bionic being, a physiovirtual environment, etc”. (9)*



*Fig. 23. Proyecto Jungle, investigación teórica en el desarrollo de sistemas generativos, Karl S. Chu 1999*

Karl S. Chu no solo utiliza los algoritmos evolutivos como parte de su investigación de sistemas generativos, sino que además, utiliza los autómatas celulares y los sistemas-L (*Ver Sistemas-L en apartado 2.3.4.5.4*). El trabajo que desarrolla Karl Chu es un trabajo de carácter académico, Chu imparte esta teoría en diferentes universidades en las cuales prima el interés en desarrollar nuevos espacios a través de las herramientas computacionales, las que son la base principal en el desarrollo de sus diseños.



*Fig. 24. Proyecto desarrollado por alumnos del Advanced Architectural Studio en la universidad de Columbia, investigación teórica en el desarrollo de sistemas evolutivos. Karl S.Chu 2005.*

El poder trasladar esta serie de modelos digitales a la realidad implicaría un estudio sobre su calidad espacial. Por lo general el siguiente paso (el paso de los estudiantes) dentro de la clase de proyectos, sería intentar encajar espacios dentro y luego unos renders con figuras humanas y plantas lo que daría la idea de ser un espacio habitable. Esta es una aproximación muy pobre hacia el espacio arquitectónico. Es un tema que debería debatirse en profundidad en las escuelas de arquitectura, en estos pseudo proyectos prima el modelo digital y la teoría que subyace a la metáfora o analogía científica, pero ¿Pueden habitarse realmente estos objetos? En la tercera parte de la tesis expondremos unos aspectos sobre neurociencia y las implicaciones de ciertas formas en la psique humana.

### 2.3.4.3. Representación Evolutiva: Thorsten Schnier.

Thorsten Schnier no es arquitecto; su trabajo (*Schnier, 1998*) sobre representación evolutiva enfocado a la naturaleza como medio de inspiración en el diseño creativo, es considerado de gran importancia para la presente tesis. En su trabajo de tesis doctoral, “*Evolved representations and their use in computational creativity*”, propone la representación evolutiva como una solución al margen de error durante el proceso de búsqueda (búsqueda de la mejor solución) en los algoritmos evolutivos.

La representación evolutiva según Schnier, consiste en la optimización de la información genética que se va a utilizar durante el proceso de diseño, de esta forma se obtiene un mayor control sobre el proceso y sobre el resultado. La representación evolutiva propuesta por *Schnier*, se puede sintetizar de la siguiente manera:

- Diseño de la información genética (*creación de genes básicos*)
- Aplicación del algoritmo evolutivo básico (*ver apartado 2.2.2.*)
- Creación de genes evolutivos (*aplica algoritmo-extracción de genes*)
- Aplicación del algoritmo evolutivo estándar
- Crear posibles soluciones a partir de los genes evolutivos.

El siguiente ejemplo ilustra gráficamente el proceso de la representación evolutiva. La figura 2.25. Muestra la representación básica utilizada para representar uno de los ejemplos desarrollados por Schnier “*The*

*Prairie Houses*” del arquitecto Frank Lloyd Wright. Para su desarrollo Schnier se basa en el trabajo sobre gramáticas de forma de las *“Prairie Houses”* desarrollado por Koning y Eizenberg, Schnier utiliza solo 34 reglas gramaticales de las 99 diseñadas por estos.

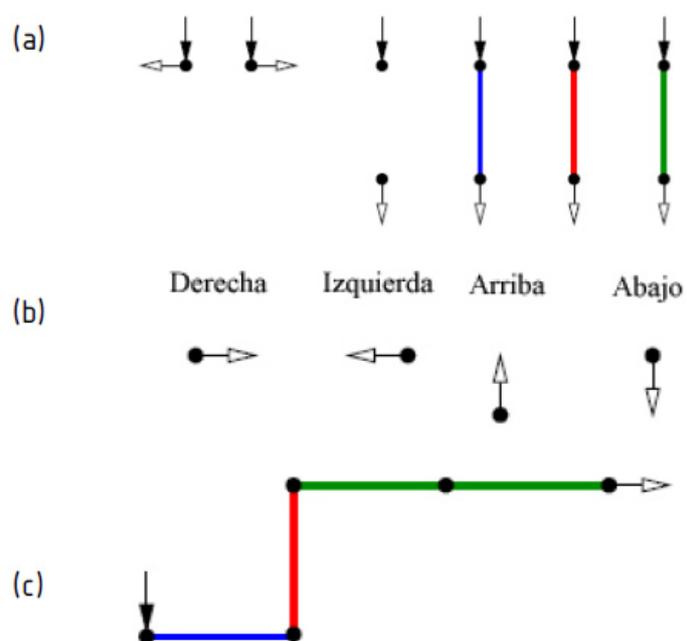


Fig. 25. Representación básica utilizada para representar las *Prairie Houses* de Frank Lloyd Wright: (a) Codificación de segmentos de línea y direcciones, (b) codificación de la dirección inicial, (c) ejemplo de representación fenotipo. Thorsten Schnier, 1998

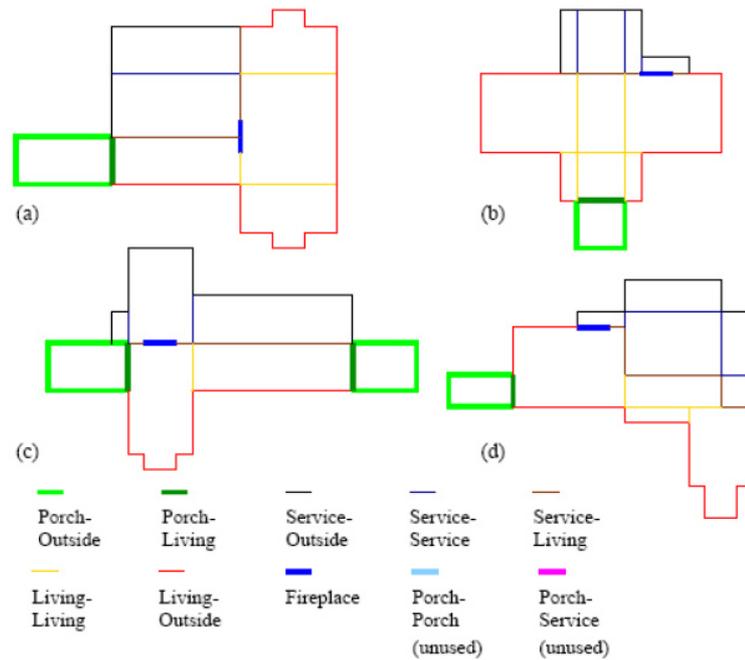


Fig. 26. The Prairie Houses de Frank Lloyd Wright: (a) Henderson House (b) Martin House (c) Baker House (d) Thomas House, en la codificación de colores para cada gen. Thorsten Schnier, 1998

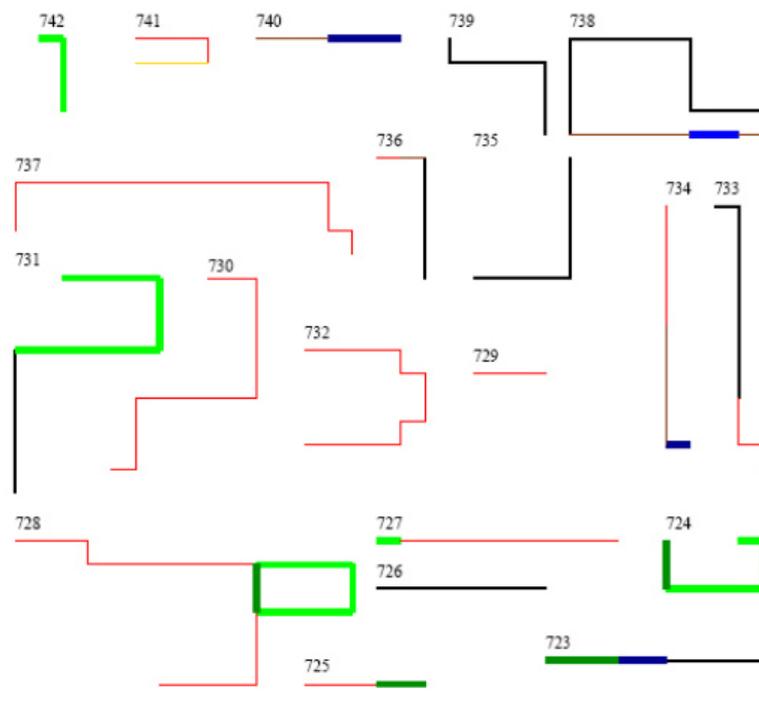
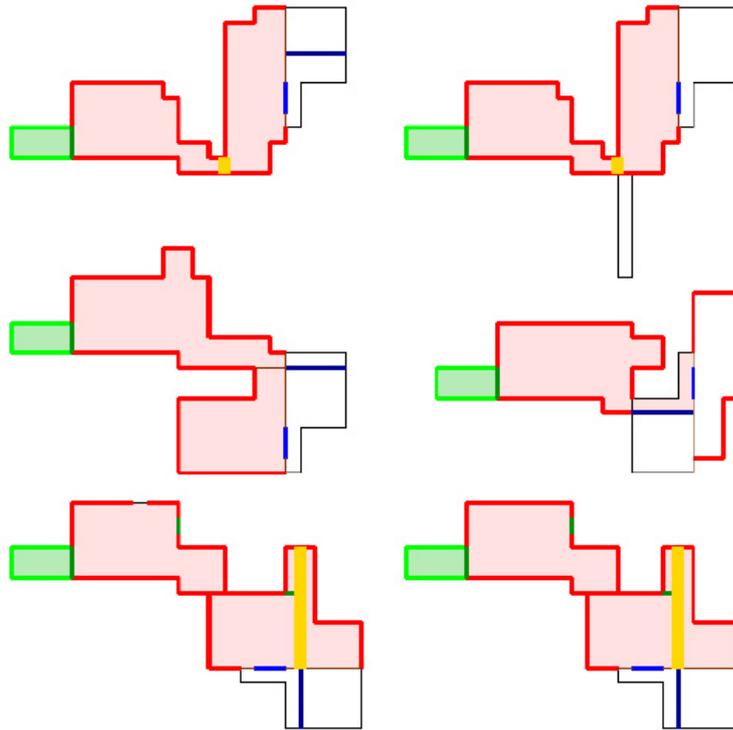
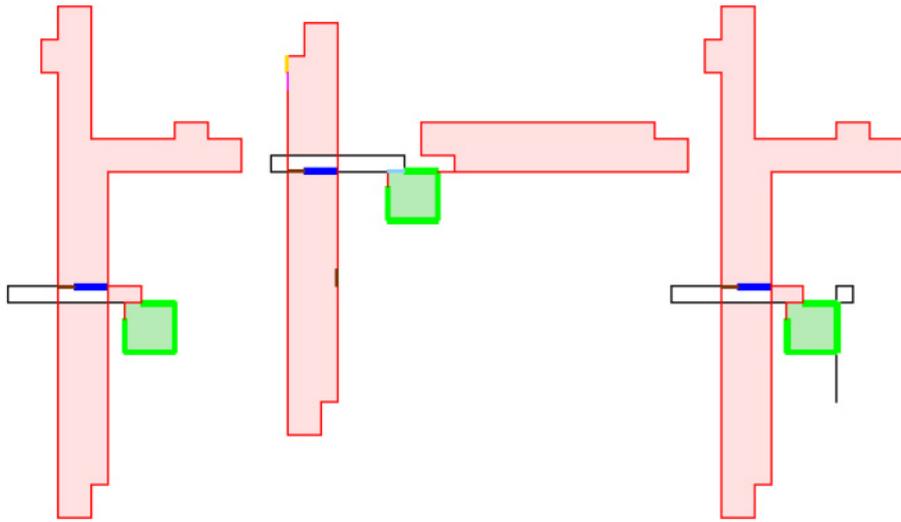


Fig. 27. Últimas representación de genes creados. Thorsten Schnier, 1998

La figura 28. Muestra el resultado de la última rutina de creación de genes en el algoritmo evolutivo. Esta rutina creó un total de 743 genes evolutivos, en la figura se muestran solo los mejores resultados.



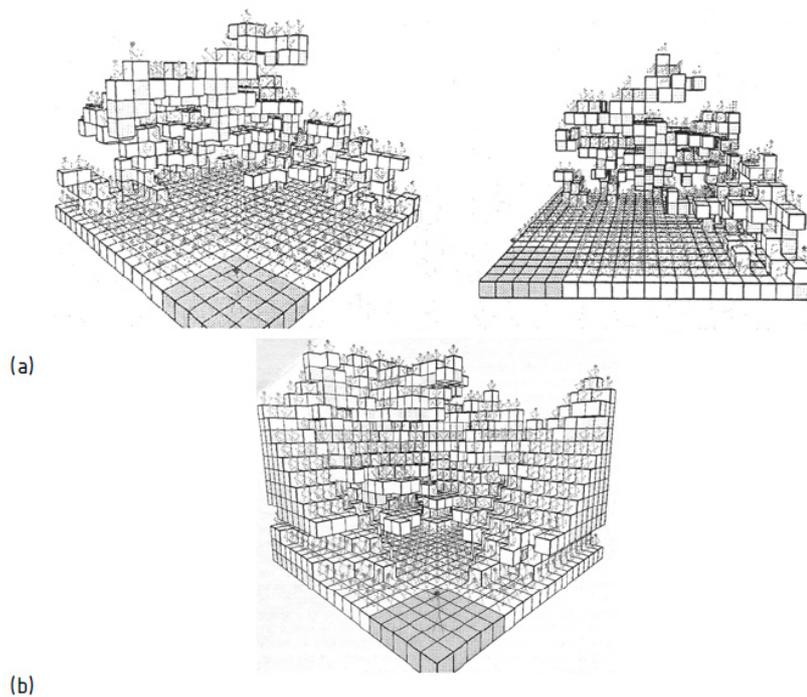
*Fig. 28. Diseños producidos (basándose en las 'Prairie Houses' de Frank Lloyd Wright) con la última generación de genes evolutivos. En este ejemplo se utilizaron 9 funciones de fitness (restricciones impuestas por el diseñador). Thorsten Schnier, 1998.*



*Fig. 29. Diseños producidos (basándose en las 'Prairie Houses' de Frank Lloyd Wright utilizando genes evolutivos pero utilizando otro tipo de representación. En este ejemplo se utilizaron 9 funciones de fitness (restricciones impuestas por el diseñador). Thorsten Schnier, 1998.*

#### 2.3.4.4. Otras formas de interpretar la analogía evolutiva en arquitectura

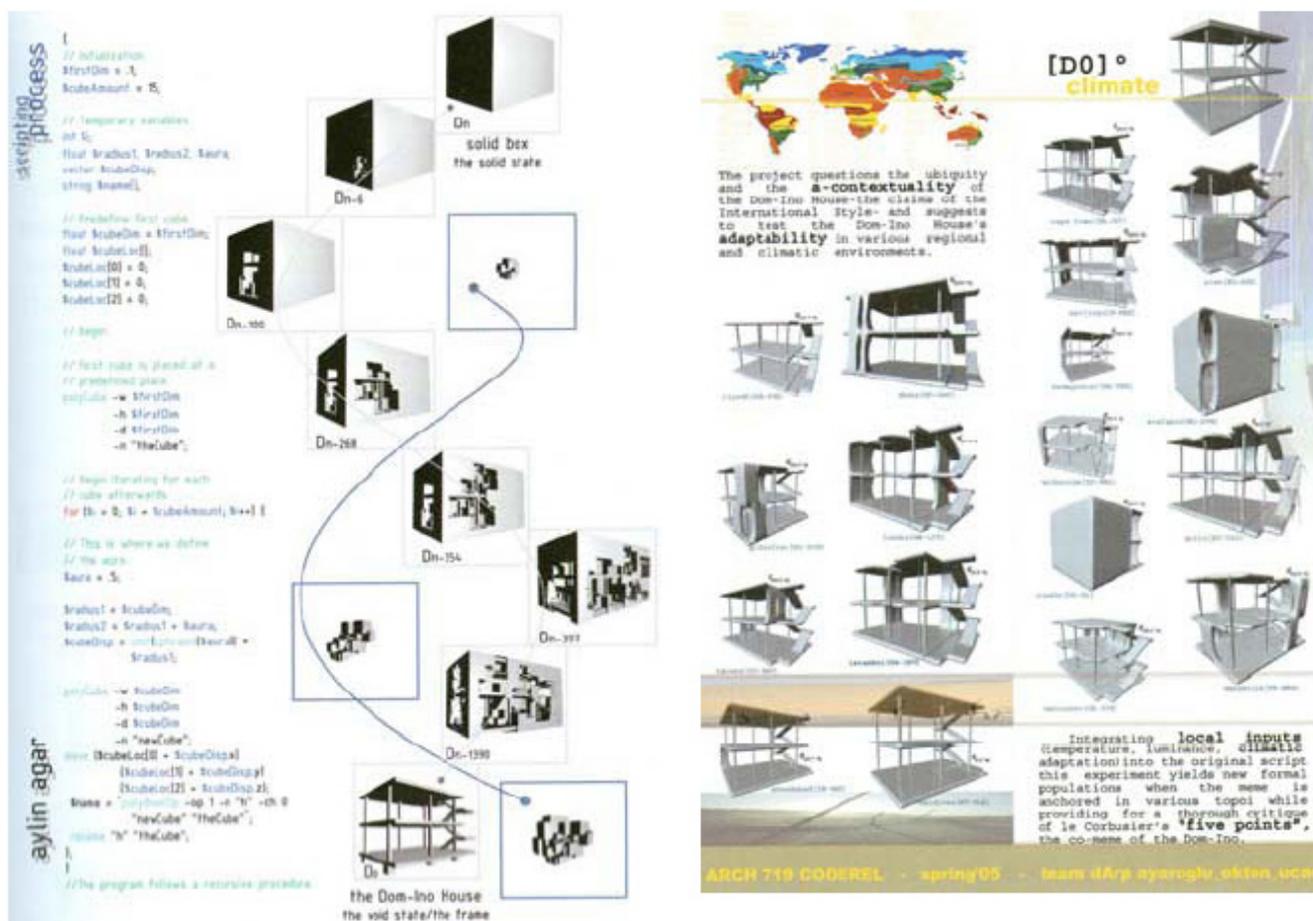
Actualmente la utilización de algoritmos genéticos o la teoría evolutiva en arquitectura, desarrollada a través de la técnica computacional, no es un trabajo de investigación que se limita únicamente a las grandes firmas de arquitectos. A nivel académico existen muchos centros de investigación en los departamentos de arquitectura de diferentes universidades en el mundo entero, en el presente apartado intentaremos resumir a través de imágenes lo que ha ocurrido en este campo en los últimos 5 años.



*Fig. 30. Ecomorphic Theatre, Alasdair Turner, (Bartlett School of Graduate Studies, University College London) (Turner, 2006).*

Tal es el caso de Celestino Soddu, director del Laboratorio de Proyección Generativa en el Politécnico de Milano. Alasdair Turner, director

del Máster “*Adaptive Architecture and computation*” de la escuela de arquitectura *Bartlett School en Londres* (Turner, 2002, 2006).



(a) (b)

Fig. 31. Zeynep Mennan, *Dom-ino-House*, desarrollado en *Maya Mell Scripting*. “Richard Dawkins(1976) coined the term ‘meme’ as an analogy to the biological unit of inheritance, the gene or the genetic replicator: ‘...a cognitive or behavioural pattern that can be transmitted from one individual to another one.’ (Mennan, 2006)

La figura 31.(a) muestra una evolución estándar de un algoritmo genético típico. Cada célula representa un individuo dentro de la población a evolucionar; el objetivo del algoritmo evolutivo (incluye algoritmos genéticos y programación genética) es obtener un modelo en el que cada individuo tenga

una perfecta visual de los actores en la medida en que estos desarrollan su papel. La figura 31.(b) muestra un sistema evolutivo usando un crecimiento celular. En el proyecto *Domino House*, llevado a cabo en el laboratorio de diseño computacional *CoDeRel* de la Universidad de Ankara (*Mennan, 2005*) *Zeynep Mennan*, propone una reescritura (reprogramación genética) del proyecto “*Dom-ino House*” de Le Corbusier, basándose en la teoría memética de Richard Dawkins (*Dawkins, 1976*).

La figura 2.31 Muestra 2 ejemplos de la reprogramación genética desarrollados en el laboratorio de diseño computacional *CoDeRel*. La figura 2.31.(a) considera la Domino House tanto un espacio sólido (caja) como un espacio vacío (estructura básica) explorando la evolución de un estado al otro. La figura 2.31.(b) evoluciona el modelo en diferentes lugares del planeta, explorando las afecciones climáticas sobre el modelo.

#### **2.3.4.5. Otros métodos de representación en computación evolutiva.**

Anteriormente se han descrito los algoritmos evolutivos como la técnica computacional más relacionada con la analogía genética; en este apartado se intentará resumir, qué otras técnicas o qué otras interpretaciones tienen cierta conexión con el interés de esta tesis, tales como los Autómatas celulares, Sistema-L y las Gramáticas de forma. En estos últimos años se ha generado una amplia interacción entre los investigadores de varios métodos de computación evolutiva, rompiéndose las fronteras entre algoritmos genéticos,

estrategias evolutivas y programación evolutiva. Como consecuencia, en la actualidad, el término “*algoritmo genético*” se utiliza para designar un concepto mucho más amplio del que concibió Holland. Paralelo a estos métodos están las investigaciones realizadas con autómatas celulares y sistemas-L, métodos que aunque no utilizan una analogía genética, ni neodarwiniana, intentan explicar el porqué de la vida, a través del estudio de los fenómenos complejos de la naturaleza.

#### **2.3.4.5.1. Autómatas celulares**

Un autómata celular (AC) representa una analogía matemática de los sistemas naturales. Dicho de otra manera, un AC abstrae matemáticamente el comportamiento de los procesos complejos en la naturaleza, reuniendo de esta forma un conjunto de modelos matemáticos que representan la variedad de fenómenos complejos en la naturaleza, como por ejemplo los patrones de crecimiento biológicos.

Estructura de un autómata celular: Un AC consiste en una retícula (ya sea de 2 o 3 dimensiones) dividida en un número de subespacios homogéneos (conocidos como celdas o células) los cuales pueden tener un número finito de estados (Newmann y Ulam, 1966; Wolfram, 1994) y un valor entero para cada uno de dichos estados. El valor de dicha celda evoluciona en pasos de tiempo discreto, de acuerdo a las reglas determinísticas locales que especifican el valor de cada celda y además dependiendo del valor de las celdas vecinas. La figura 2.32. Muestra la definición del estado de las celdas vecinas en un AC de 1 y 2

dimensiones. El estado de la celda ubicada en el centro cambia con respecto al estado de su celda vecina

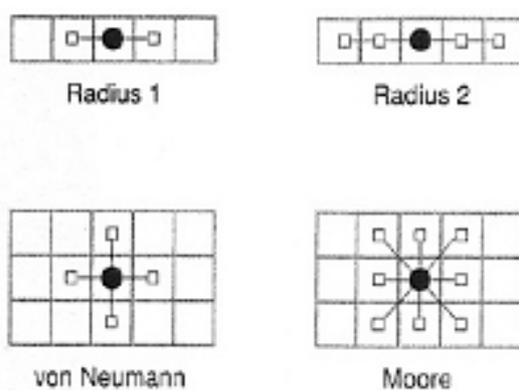


Fig. 32. Representación de un autómata celular básico de 1 y 2 dimensiones.

**Patrones de comportamiento en un Autómata celular:** Stephen Wolfram clasificó el comportamiento cualitativo de los autómatas celulares unidimensionales, de acuerdo a las siguientes clases (*Wolfram, 1984*):

Clase I (estado Homogéneo): después de un número finito de pasos, la evolución lleva a una configuración estable y homogénea, todas las células terminan por llegar al mismo valor.

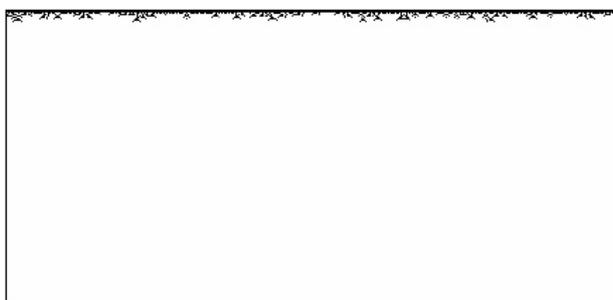
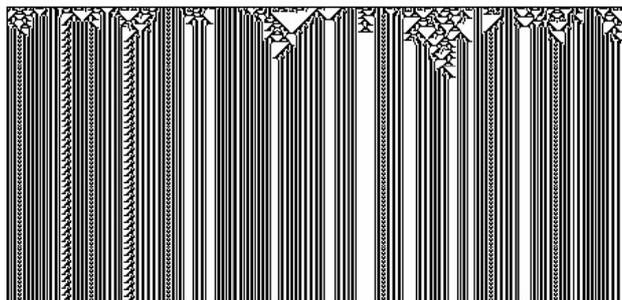


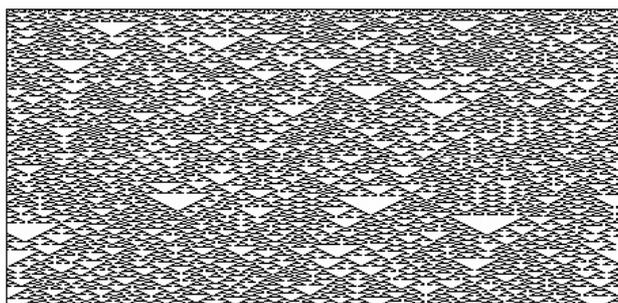
Fig. 33. Autómata Celular de clase 1 (homogéneo). En la figura las células vivieron durante los primeros pasos, luego su valor se convirtió en cero, ocasionando su muerte.

Clase II (estado periódico): Este tipo de autómatas crea patrones que se repiten periódicamente (típico en periodos cortos) o son estables. La evolución del autómata lleva a un conjunto de estructuras estables o periódicas.



*Fig. 34. Autómata Celular de clase 2 (periódico). Después de los pasos de oscilación el autómata se repite a sí mismo en tiempo (Horizontal), en espacio (vertical) o en ambos.*

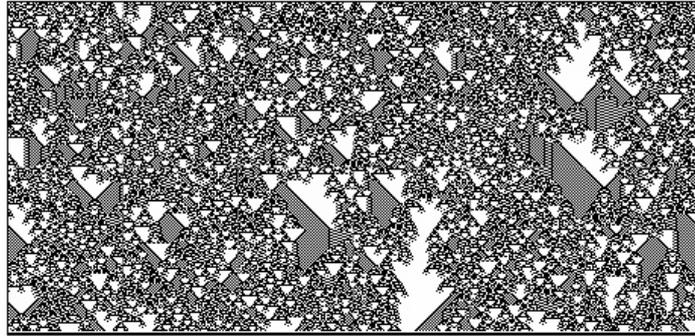
Clase III (estado caótico): Este tipo de AC lleva a un patrón caótico no periódico. El patrón creado por este AC, son un tipo de curvas fractales auto-similares.



*Fig. 35. Autómata Celular de clase 3 (caótico). El autómata crece de forma caótica.*

Clase IV (estado complejo): Después de un número de pasos finitos, este AC usualmente muere, ya que el valor de sus celdas tiende a cero. Sin

embargo en algunos estados estables (periódicos), es posible obtener algunas figuras.

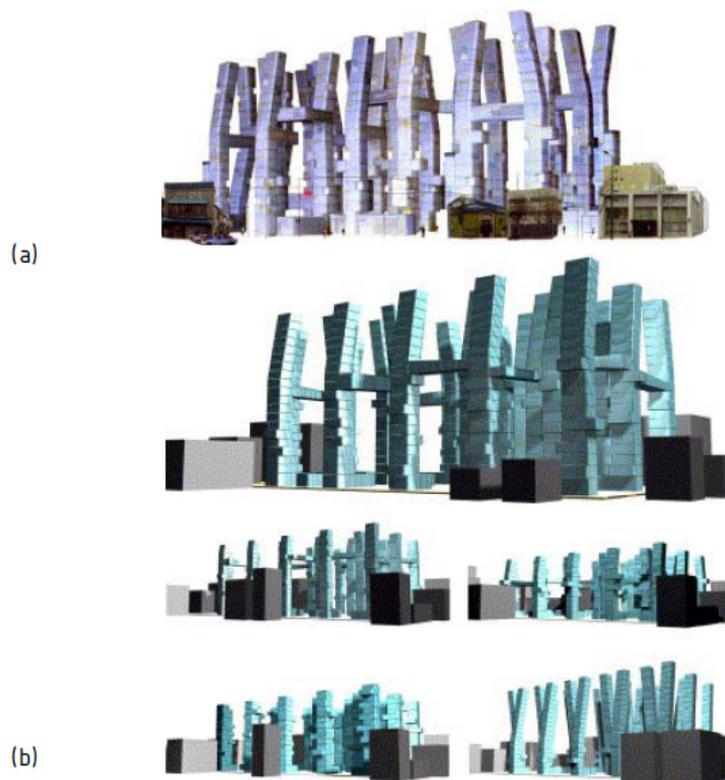


*Fig. 36. Autómata celular de clase IV (complejo). El autómata crece de forma compleja tanto en sus comportamientos estables locales (actuando como memoria) como en su alto rango de correlación (actuando como un transmisor de datos).*

El interés que ha despertado esta técnica radica en la sencillez de construcción de los modelos; además, en la particularidad de los patrones de comportamiento presentados por el autómata celular en tiempo de ejecución, permitiendo su uso en áreas como las matemáticas, física, ingeniería, ciencias naturales, química, arte, arquitectura, finanzas y economía entre otras.

### 2.3.4.5.2. Autómatas celulares en arquitectura

En arquitectura el interés por los autómatas celulares no radica en entender el comportamiento de los fenómenos naturales pero sí en la analogía de crecimiento (a través de la interacción con el entorno) durante el proceso de diseño generativo, el cual permite buscar nuevas estrategias que facilitan la exploración de diseños variacionales. Trasladado al campo de la arquitectura gráfica, el autómata celular en una o dos dimensiones es considerado como una unidad tridimensional, que se puede leer como una unidad habitacional (edificio).



*Fig. 37. (a) Muestra el diseño realizado por los arquitectos Cero9. (b) Muestra la remodelación del proyecto de Cero9 por Christiane M. Herr y Thomas Kvan con la utilización de un autómata celular. (Herr y Kvan, 2005)*

El uso de los autómatas se ha desarrollado con mucho interés en urbanismo, simulando la complejidad en el crecimiento y entendimiento de las ciudades y una relación interacción-comportamiento de sus ciudadanos. Los primeros trabajos sobre autómatas celulares en arquitectura se dieron por parte de John Frazer, representado en su proyecto “*The Universal constructor*” que era un sistema de hardware basado en un autómata celular. (Frazer, 1995) y en el campo de la representación gráfica por P. Coates (Coates, 1996) y M. S. Watanabe (Watanabe, 2002).

### 2.3.4.5.3. Sistemas L

A finales de 1960, el biólogo y botánico teórico húngaro Aristid Lindenmayer introdujo el formalismo de los sistemas-L, que en un principio fueron introducidos para modelar el desarrollo de organismos multicelulares simples (como por ejemplo, algas) en aspectos de división, crecimiento y muerte de las células individuales (Lindenmayer, 1968).

El área de aplicación de los *sistemas-L* se expandió hasta abarcar el modelado de estructuras de plantas complejas y la generación de formas fractales. Los *sistemas-L* consisten en gramáticas con reglas de reescritura destinadas a crear una descripción formal del modelo. En el área de los *sistemas-L*, el concepto del módulo hace referencia a cualquier unidad constructiva que es repetida a medida que la planta crece, como por ejemplo un internodo, un ápice, una flor o una ramificación. Ver figura 38.

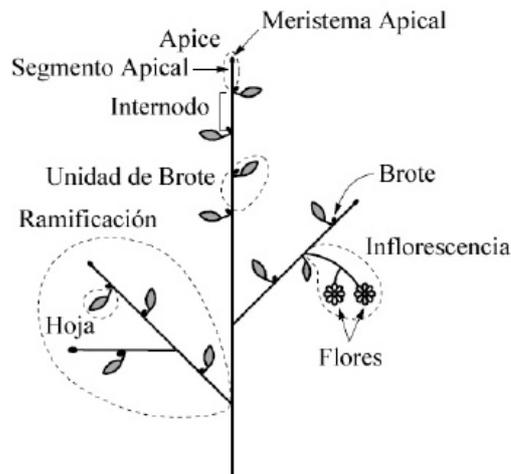


Fig. 38. Grupos de módulos (en línea punteada) utilizados para describir las plantas.

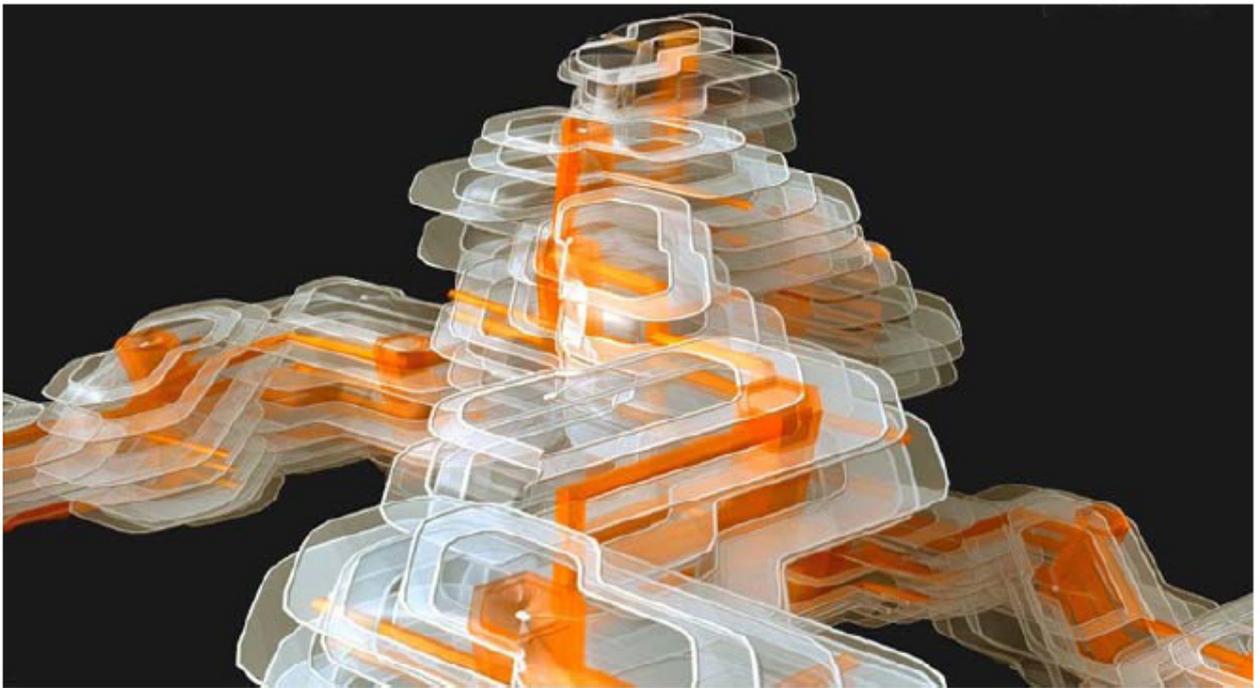
### Estructura de un sistema-L

Las gramáticas de los sistemas-L son muy similares a las gramáticas *semi-Thue* (Chomsky). Un sistema-L consta de 2 partes, una generativa y la otra interpretativa. El principal aspecto del proceso generativo se desarrolla en la reescritura de una cadena, en donde las letras que están compuestas por una cadena inicial, son reemplazadas por otras letras que corresponden a una regla que ha sido previamente definida por el diseñador.

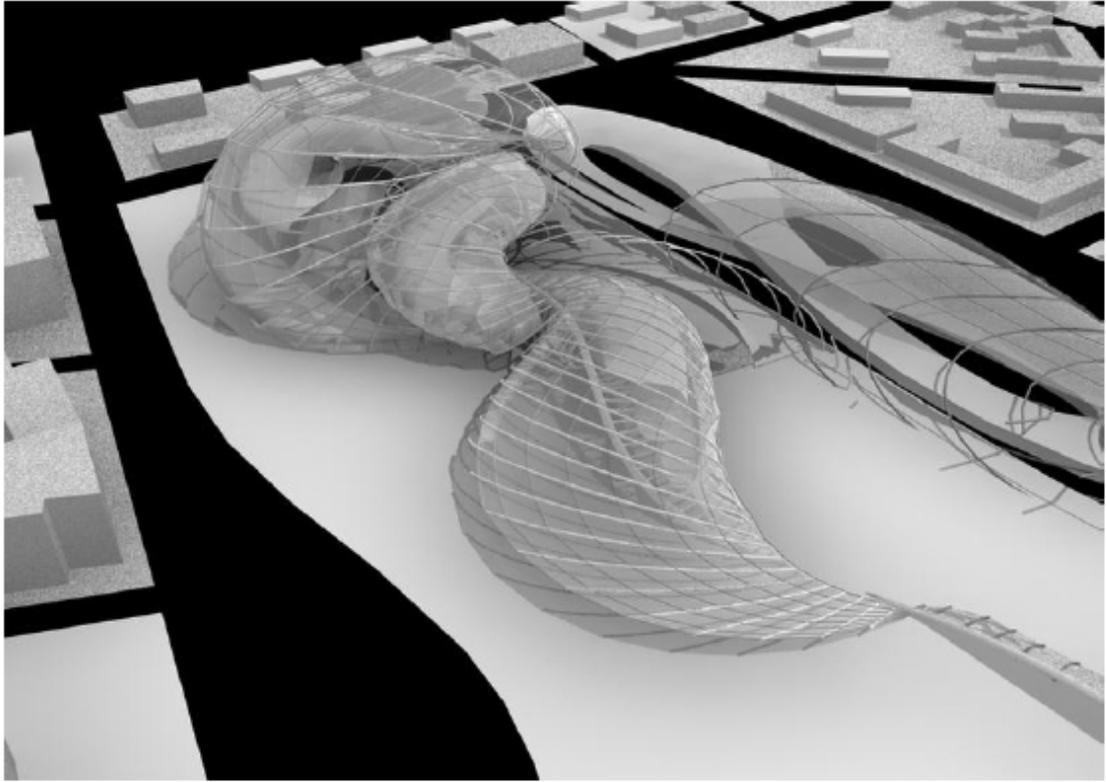
La segunda parte de los sistemas-L, interpreta las letras de una o de múltiples cadenas de letras generadas a lo largo del proceso.

#### 2.3.4.5.4. Sistemas-L en arquitectura

Los sistemas-L en arquitectura al igual que los algoritmos evolutivos, se usan para explorar la creatividad durante el proceso de diseño, permitiéndole al diseñador considerar el modelo como un objeto vivo que crece y que interactúa en un medio que simula al natural.



*Fig. 39. Modelo desarrollado a través de los sistemas-L, Studio 6 Advanced Architectural Studio, Universidad de Columbia. 2005. Karl S. Chu.*

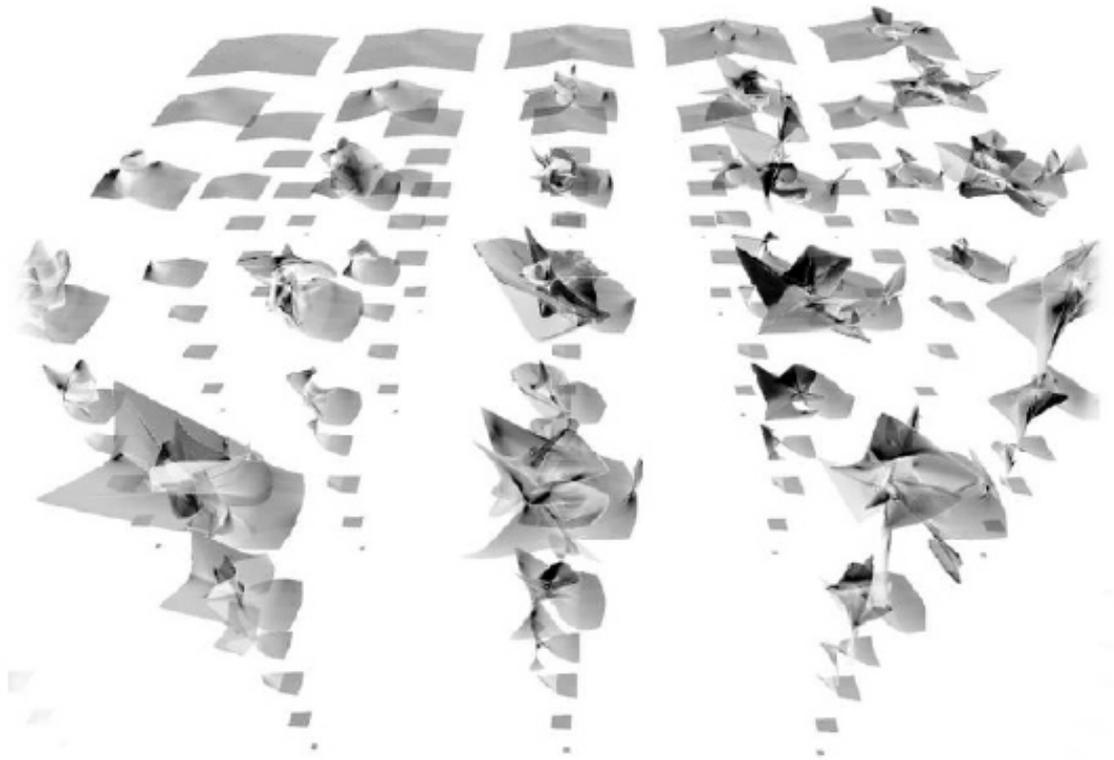


*Fig. 40. Modelo desarrollado a través de los sistemas-L, Studio 6 Advanced Architectural Studio, Universidad de Columbia. 2004. Karl S. Chu.*

Desde el punto de vista de la creación de software que utilizan algoritmos evolutivos (*sistemas-L*) y que es utilizado en arquitectura, está el trabajo de Martin Hemberg y Una-May O'Reilly, del Departamento de Inteligencia Artificial del MIT, Gern8 es el nombre de este software, que tiene como finalidad el crecimiento de superficies en una forma orgánica.

Gern8 fue desarrollado con *Map L-system*, que es una extensión de los *sistemas-L*. Gern8 es un *Plug-in* que trabaja bajo la plataforma del Software *Maya Wave front*. Este Software es utilizado como herramienta educacional en el programa de máster *Emergent Technologies and Design* de la *Architectural*

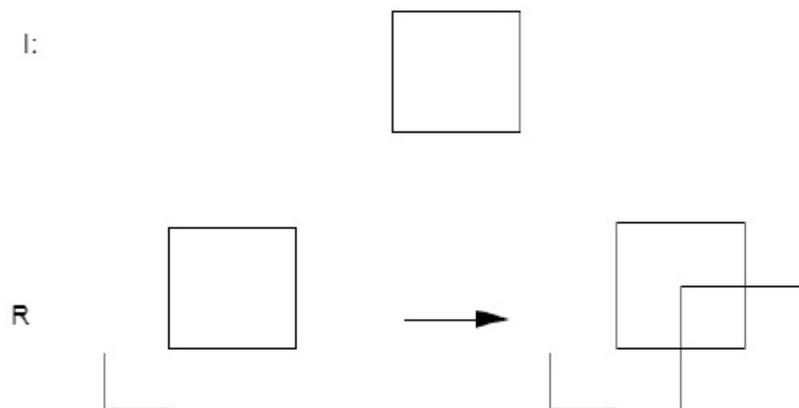
*Association*, y en el máster de *arquitecturas genéticas* en la *ESARQ* (Weinstock, 2005).



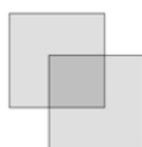
*Fig. 41. Evoluciones de superficies. Modelo desarrollado con Gern8, Martin Hemberg y Una-May O'Reilly, departamento de inteligencia artificial, MIT. (Hemberg, O'Reilly, Menges, Jonas, da Costa y Fuchs; 2008).*

### 2.3.4.5.5. Gramáticas formales

En 1971, Georgy Stiny (*Stiny, 1980.*) introduce el concepto de “gramáticas de forma” en el campo del diseño arquitectónico. Las gramáticas de forma son gramáticas (paramétricas o no paramétricas) que definen un lenguaje de formas tanto de dos como de tres dimensiones. Stiny dio una descripción generativa usando como base, los juguetes educativos de Friedrich Froebel (*“Froebel’s Kindergarten Blocks”*). Las gramáticas de forma pueden incorporar la información del procedimiento, por ejemplo estructurando el proceso generativo en fases las cuales pueden ser establecidas por la presencia de marcadores. Las gramáticas de forma se pueden usar tanto para el análisis de diseños existentes (*Flemming, 1981*) como para producir nuevos diseños de estilo similar (*Stiny y Mitchell, 1978*).



*Fig. 42(a). Representación de una gramática de forma básica. M Tapia, 1999.*



Cuando a la forma inicial le es aplicada la regla produce una forma de tres cuadrados, dos del mismo tamaño inicial, y un tercero que resulta de la intersección de los dos primeros.

*Fig. 42(b). Representación de una gramática de forma básica. M Tapia, 1999.*

Estructura de una gramática de forma (GF) Este sencillo ejemplo presentado por M. Tapias (*Tapia, 1999*) muestra una gramática de forma básica. La GF genera un diseño en una retícula ortogonal. La forma inicial es un cuadrado (I). La regla (R) especifica una posible operación de reemplazo, uniendo dos formas: un patrón, un cuadrado y su reemplazo (el mismo cuadrado con la adición de una copia trasladada).

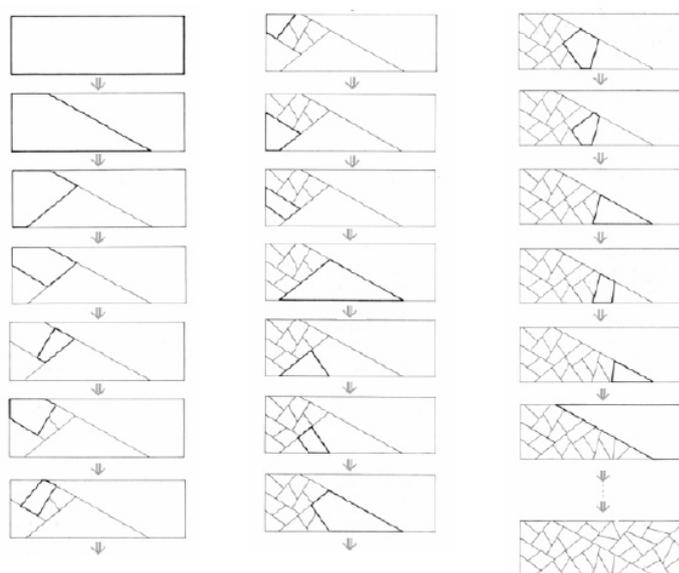


Figura 43. Celosía China “en rayos de hielo”, desarrollada a partir de una gramática de forma, Stiny 1977.

El proceso de desarrollo y uso de una gramática de forma se puede dividir en las siguientes fases:

1. Creación y modificación de la gramática de forma: El diseñador crea la regla y la forma inicial y verifica o cambia las restricciones lógicas y espaciales.
2. Compilar la gramática: Mientras la gramática es convertida a la forma interna, el sistema revisa que cada regla se aplique en un número finito de formas.

3. Explorando el lenguaje de diseño definido por la gramática: El diseñador explora el lenguaje del diseño, generando modelos, aplicando restricciones adicionales, entrecortando el proceso de diseño, retrocediendo a un diseño anterior o salvando el estado actual.

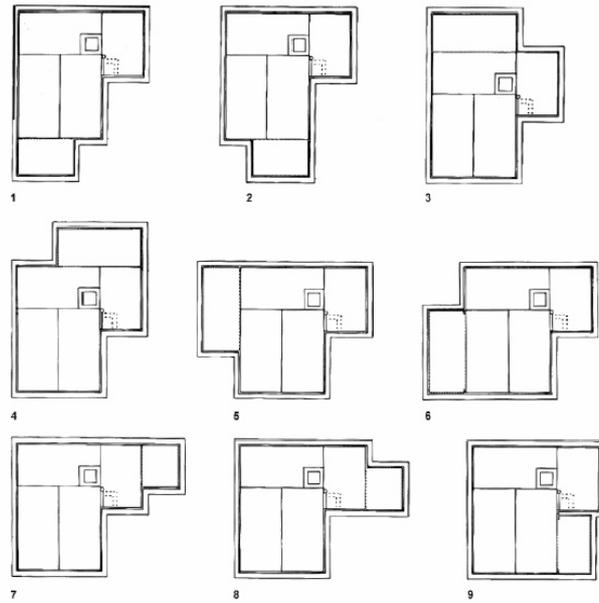


Figura 44. Salas de té japonesas, generadas a partir de una gramática de forma, Knight 1981

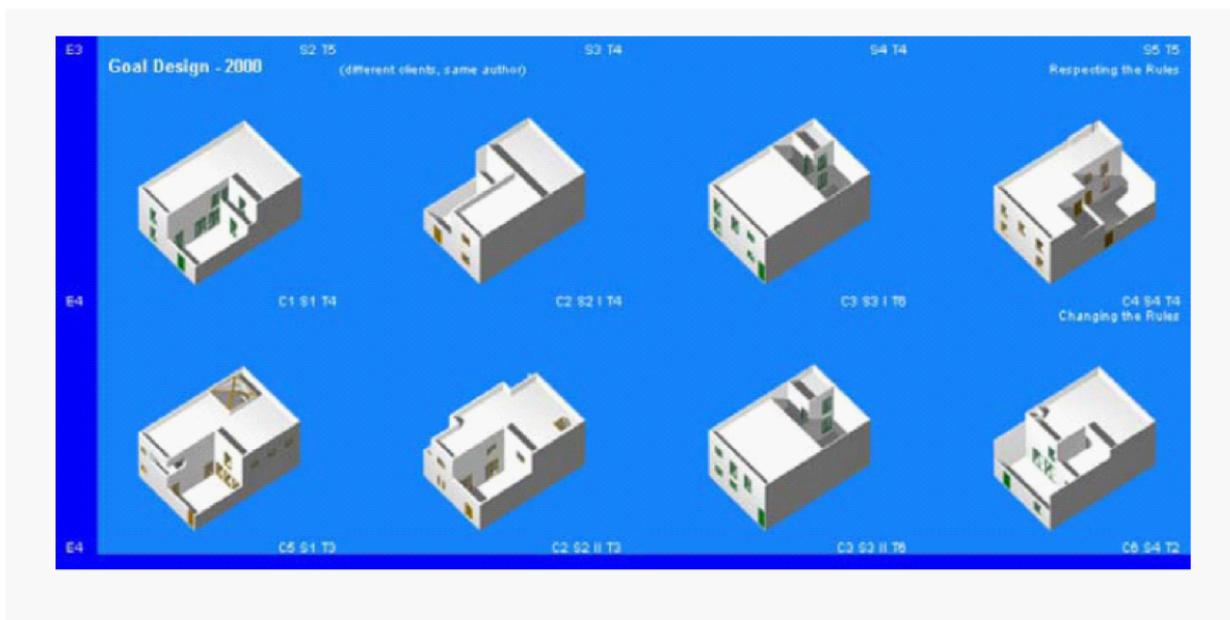


Figura 45. Una gramática de forma para el sistema de casas creados por Alvaro Siza (Malagueira Houses) José Duarte Doctorando del “Computational Design I: Theory and Applications – MIT,” 2007.

## CONCLUSIÓN

De alguna manera hasta este punto hemos visto el estado actual con referencia a las analogías sobre la ciencia, evolución y genética en arquitectura. Podemos observar cómo algunos arquitectos realizan propuestas que se acercan más a los sistemas evolutivos imitando sus procesos; y cómo otros buscan representar solo sus formas geométricas. También podemos reconocer que los programas de diseño de alguna manera puede afectar tanto positiva como negativamente al proceso de creación.

Citando el comentario de Peter Eisenman sobre el cambio de paradigma en el proceso de proyectar la arquitectura, nos puede ayudar a expresar este punto:

*“In photographic reproduction, the subject still maintains a controlled interaction with the object. A photograph can be developed with more or less contrast, texture or clarity. The photograph can be said to remain in the control of human vision. The human subject thus mains its function as interpreter, as discursive function. With the fax, the subject is no longer called upon to interpret, for reproduction takes place without any control or adjustment. The fax also challenges the concept of originality: While in a photograph the original reproduction still retains a privileged value, in facsimile transmittion the original remains intact but with no differentiating value since it is no longer sent...”*

La analogía de la cámara fotográfica y del fax, es un buen ejemplo para representar lo que deseamos mostrar en esta tesis. El uso de los softwares de diseño usados como una ayuda al proceso de diseño (sin desplazar la

creatividad del mismo arquitecto) sería como lo expresa Eisenman cuando habla de la cámara fotográfica, en la que aún podemos controlar ciertos aspectos. Mientras que la analogía del Fax, representa un proceso que está fuera de nuestro control. Son aspectos muy sutiles y requieren de discernimiento, responsabilidad y sobre todo de conocimiento.

De alguna manera la aparición de estos elementos de computación evolutiva es una invitación a hacerlos parte de nuestro conocimiento. Tal vez podríamos hablar del “arquitecto programador”, quien lleva el control de estas rutinas de algoritmos. Hoy en día hay muchos programas que permiten modificar ciertos elementos del proceso de modelado; permitiendo al diseñador (quien previamente conoce el lenguaje de programación) aplicar las variables que le permitirán “restringir” ciertos aspectos del proceso de diseño.

En el siguiente apartado de la tesis, tocaremos sobre todo el tema de reconocer la calidad espacial, mostrando también una serie de elementos-patrones que consideramos se podrían introducir dentro del proceso de diseño arquitectónico; todo esto con la finalidad de crear espacios más armónicos y adaptados a la sensibilidad humana.

## TERCERA PARTE

*Hacia un espacio genético en Arquitectura.*

### 3. Hacia un espacio genético en arquitectura.

*“Modern society has produced an increasingly compromised and degraded natural environment that offers far fewer opportunities to experience satisfying contact with nature as an integral part of ordinary life.”*

Stephen R. Kellert.

En los últimos años, paralelo a la aparición de la “arquitectura digital” también han surgido enfoques alternativos de diseño y desarrollo, comúnmente denominados como “diseño sostenible”, que se centran en minimizar los efectos adversos del entorno construido sobre la naturaleza y la salud humana. Son elementos de gran importancia y necesarios para el diseño de hoy en día pero aun así insuficientes. Este tipo de diseño también ignora la necesidad de restaurar el contacto beneficioso entre las personas y la naturaleza en el entorno construido. Es precisamente este el tema que trataremos en este apartado de la tesis, es una invitación a observar si las propuestas de diseño evolutivo que hemos analizado en los apartados anteriores, brindan esta conexión y bienestar a sus habitantes.

Hacia un espacio genético en arquitectura pretende mostrar la importancia de las formas y de cómo la percepción de estas puede afectar

positiva o negativamente la psique humana. En este apartado trataremos el análisis de la calidad espacial, estudiando aspectos de la neurología que nos permitirán analizar qué configuraciones formales o espaciales pueden generar en nosotros estados de estrés, ansiedad, miedo, etc. De la misma manera presentaremos una serie de “elementos-patronos” que pueden promover en nosotros los efectos contrarios a estos estados emocionales.

La parte final de este apartado tratará el tema de “la correcta interpretación” a manera de conclusión, invitando al lector a tomar más consciencia de las herramientas de diseño que usamos; entendiendo que la responsabilidad del arquitecto de alguna manera también es brindar armonía a través de sus creaciones.

Disponemos de muchas herramientas para crear tanto espacios armoniosos como espacios desarmoniosos; al mismo tiempo sabemos cuáles son las consecuencias que tienen sobre sus habitantes, y que estas consecuencias terminan de alguna manera afectando a la sociedad en general. La correcta interpretación implica una correcta selección; en cada paso del diseño, la atención plena acompañada de un buen discernimiento y responsabilidad social nos podrán ayudar en este bello proceso de la creación.

### **3.1. Análisis de la calidad espacial.**

#### **3.1.1. Capacidades curativas del espacio construido.**

La idea de que la naturaleza jugaba un importante rol en el proceso de recuperación de pacientes, se remonta miles de años atrás más específicamente en la antigua Grecia. Los templos de Asclepio (Esculapio para los romanos, dios griego de la curación y la medicina) eran construidos lejos de las ciudades, en lo alto de las colinas y con vistas al mar. Cada templo era un conglomerado de edificios e instalaciones cuyo tamaño y opulencia dependía de la riqueza e importancia. La estructura predominante era: Un templo principal, donde se encontraba la estatua del dios, un “Tholos”, donde se encontraba un estanque o manantial, el “Abaton”, sala en la que dormían los enfermos para que se produjese la curación. Además podían tener teatro, estadio, gimnasio y posadas.

Aquí los enfermos recibían masajes, hidroterapia, ejercicio y una dieta saludable. Les daban ungüentos y cataplasmas, los cuales estaban sometidos a medidas higiénicas. Esta moderna terapia general precedía al sueño en el “Abaton” o sala de incubación y sueño del templo, donde, durante la somnolencia hipnótica, el dios se aparecía al paciente y realizaba una cirugía u otro tratamiento, además de las recomendaciones para ser seguidas por los médicos del templo. Durante estas rondas, Asclepio a menudo estaba acompañado por sus hijas Hygieia (salud) y Panacea (cura), y sus tratamientos a

veces se llevaban a cabo por una serpiente sagrada del templo o un perro que lamía la parte enferma.

A los templos podían acudir tanto ricos como pobres. Fueron como una especie de santuarios o balnearios medicinales. En la península Ibérica se han encontrado restos de antiguos templos de Asclepio en Ampurias (siglo IV a.C.), y en la Almoína (siglo II a.C.).

Pero a finales del siglo XX, los hospitales fueron diseñados sobre todo pensando en dar cabida a los equipos hospitalarios. Cuantos más escaners y aparatos de rayos X tenga el hospital, tendrá más aparatos para encefalogramas y electrocardiogramas lo que conllevará a los más sofisticados exámenes bioquímicos de orina y de sangre, lo que indicará que el hospital cuenta con todas las facilidades médicas elevando así su reputación. En muchas ocasiones se dedican espacios enteros para acondicionar equipamientos delicados tales como los del departamento de radiología, etc. Esta dependencia de la tecnología médica ha desvalorado la comodidad de los pacientes, ignorando por completo en algunos casos su entorno y cómo éste puede afectar al proceso de curación en los pacientes.

La idea de que el espacio o ambiente que habitamos pueda contribuir a la curación, tiene una base científica. El primer estudio realizado al respecto fue publicado en la revista *Science* en 1984, Roger Ulrich (Ver anexo I) demostró que las habitaciones de los hospitales que tenían ventanas con vistas

a la naturaleza, ayudaban a que los pacientes se recuperaran más fácil y rápidamente.

*“Parece tener un sentido común,” afirmaba Ulrich. “Y los pacientes estaban allí, siendo monitoreados por todo tipo de aparatos, controlándoles el ritmo cardíaco, control de electrocardiogramas, presión sanguínea, temperatura todo lo que os podáis imaginar. Por lo tanto usamos estos valores para determinar si las ventanas tenían o no un efecto en el proceso de curación. Lo hicimos y funcionó.” (Ulrich, 1984)*

En agosto de 2002 el “AIA, Instituto Americano de Arquitectos” celebró un taller para científicos y arquitectos en el que se exploraba la interacción entre la arquitectura y la neurociencia. A partir de este taller se creó la academia de neurociencia para la Arquitectura con sus siglas en inglés ANFA.

La idea de que el espacio construido pudiese afectar a la salud no se pudo investigar en términos científicos hasta finales del siglo XX en donde se establecieron las conexiones entre el cerebro y el sistema inmunológico y lo esencial de estos para mantener la salud. Los esfuerzos de colaboración entre los neurocientíficos y los arquitectos no son nuevos. Desde los días en que los científicos comenzaron a estudiar el cerebro, los arquitectos tuvieron un papel destacado en los intentos de mapear el cerebro y sus estructuras.

El tratado de Thomas Willis *Cerebri Anatome*, el cual fue un gran paso para la medicina, presenta dibujos del cerebro desde todos los ángulos: arriba

- abajo, delante - detrás y lateral, y las secciones laterales. Willis lo dedicó a uno de sus ilustradores, a Sir Christopher Wren.

Veinte años después de la publicación de *Cerebri Anatome*, el filósofo francés Rene Descartes, enseñó un bosquejo en el que mostraba la conexión entre un objeto y el visualizador del objeto (el ojo), y cómo a través del cerebro se producía el movimiento de la mano. Este bosquejo puede ser el primero en mostrar claramente que el cerebro recibe impulsos sensoriales del entorno y cómo de alguna manera nos hace actuar. Hoy, cuatro siglos después de que Descartes mostrara su bosquejo y Wren diseñara su magnífica catedral e ilustrara el libro de Willis, podemos ver, con las herramientas de la ciencia moderna, la forma en que nuestros órganos sensoriales reciben las señales del mundo que nos rodea, y cómo las células y moléculas del cerebro trabajan juntos para combinar estas señales en una percepción, que nos permite detectar y gestionar los espacios y las formas que nos rodean. Podemos discernir, cómo los productos químicos de los nervios producidos por el cerebro, cuando reaccionamos a nuestro entorno pueden a su vez influir en el sistema inmunológico que nos ayuda a sanar.

### 3.1.2. Percepción del espacio.

*“Una parte perceptiva de nuestro sistema neurológico busca la información, la otra parte le asigna un significado, y al hacerlo dan lugar en nuestro cerebro a una codificación de estructuras culturales, filosóficas e ideológicas”.*  
(Salingaros, 2006)

Las investigaciones realizadas por el ANFA demuestran que nos involucramos emocionalmente con el entorno construido a través de las formas arquitectónicas y las superficies. Experimentamos nuestro entorno de la misma manera en que experimentamos los entornos naturales, y en la misma manera en que nos relacionamos con seres humanos y criaturas del entorno natural.

Nos relacionamos con los detalles, las superficies y los espacios arquitectónicos de la misma manera que nos relacionamos con los animales domésticos, como nuestras mascotas por ejemplo. El mecanismo a través del cual nos relacionamos con los objetos externos se basa en una conexión establecida a través del intercambio de información. Este mecanismo neurológico reacciona al campo de información induciendo a su vez a una cadena de reacciones en nuestro organismo tanto a nivel físico como emocional.

Tanto los entornos naturales como los construidos poseen cualidades intrínsecas que permiten una conexión tan fuerte, que a su vez puede ser curativa. Los grandes arquitectos del pasado estaban más abiertos a discernir estas cualidades, y reproducirlas en sus edificios, porque estaban más

comprometidos con su entorno inmediato. Al mismo tiempo experimentaban una cosmovisión más sagrada que estaba intrínseca en todas sus acciones.

Investigaciones recientes demuestran que las configuraciones que incluyen elementos de la naturaleza en nuestro entorno contribuyen positivamente al bienestar humano (Taylor, 2005).

### **3.1.3. Aspectos neurológicos del comportamiento humano.**

El cerebro humano es el órgano más complejo de nuestro cuerpo, que comprende 100 mil millones de neuronas de muchos tipos diferentes, agrupadas en docenas de dominios con sus propias arquitecturas únicas y patrones de conexiones sinápticas. Las señales eléctricas y químicas recorren continuamente el cerebro, analizando, y almacenando la información entrante de los órganos sensoriales que responden tanto al entorno externo (luz, sonido, olor, sabor, tacto, temperatura, posición relativa a la gravedad) como a los parámetros internos (temperatura, concentraciones químicas, tensión de oxígeno, presión arterial). El cerebro genera respuestas motoras y químicas que son adaptativas para el mantenimiento, la supervivencia, la procreación y las experiencias significativas que crean memoria, conciencia, sentido de uno mismo e historia. El campo de la neurociencia explora la amplitud de estas señales de entrada y salida correspondientes que subyacen al pensamiento inconsciente y consciente, las respuestas fisiológicas, emocionales y estéticas.

Las nuevas herramientas altamente refinadas y potentes permiten el monitoreo de las señales químicas y eléctricas que son responsables de estas propiedades. Por ejemplo, las imágenes de resonancia magnética funcional nos permiten observar el reclutamiento de diferentes dominios del cerebro en la percepción y la toma de decisiones mientras experimentamos estímulos sensoriales que evocan recuerdos y deseos. El uso de la electroencefalografía de alta definición permite el registro en tiempo real de patrones de actividad eléctrica que mantienen la atención y la cognición en la búsqueda de caminos y en la selección de caminos en un entorno hospitalario. Los métodos de electroencefalografía ofrecen una ventaja al revelar la respuesta inmediata de las señales neuronales en marcos de tiempo de microsegundos, a medida que los sujetos se mueven dentro y entre distintos espacios. Los ensayos bioquímicos de transpiración actualmente permiten la determinación rápida de respuestas neurohormonales a entornos estresantes, como los que se encuentran en los centros de salud. La electrocardiografía permite medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca que es impulsada por el sistema nervioso autónomo para modular el estrés y la relajación en respuesta a la luz y otros cambios ambientales. En resumen, gracias a los avances de la ciencia, hoy en día podemos monitorear nuestros cerebros, en lugar de hacer una suposición educada a partir de un intercambio verbal o una encuesta psicosocial de comportamiento.

### 3.1.3.1. El cerebro es una estructura dinámica:

Cuando diseñamos un edificio, debemos tener en cuenta la edad y el estado de salud de las personas que lo usarán, tanto como incorporamos criterios para el rendimiento físico y la sostenibilidad de la instalación y las condiciones ambientales locales. Al nacer, el cerebro aún es bastante inmaduro, y el proceso de maduración tardará más de 20 años en producir el cerebro completamente funcional.

Desde el nacimiento hasta los 6 años de edad, cuando el cerebro alcanza aproximadamente el 95% de su peso adulto, las áreas de la corteza llamadas áreas de asociación aumentan sus capacidades para manejar la información sensorial, pero pueden verse abrumadas porque su capacidad de selección no es completamente funcional. Los movimientos voluntarios, la percepción y el razonamiento evolucionan rápidamente durante este período, y las regiones frontales de la corteza se activan y se dedican a tareas complejas que implican planificación, apego emocional y atención. Durante la adolescencia, desde aproximadamente los 6 años hasta los 20 años, la adición de células y el crecimiento de sinapsis de células neuronales se ralentiza en comparación con las tasas anteriores, y cede a un proceso de poda y desprendimiento, esculpiendo el cerebro en su forma adulta. Además, la mielinización de las proyecciones neuronales (axones) aumenta la velocidad de los impulsos eléctricos y las conexiones se estabilizan. Las áreas prefrontales

de la corteza maduran, produciendo un mejor control del comportamiento impulsivo, el juicio y la toma de decisiones.

Desde la edad de los 20 años hasta alrededor de los 65 años, las funciones cerebrales alcanzan su punto máximo y comienzan a cambiar, con alguna pérdida de masa y deterioro funcional, particularmente en aspectos de consolidación y recuerdo de la memoria. Pero la idea muy común de que hay una pérdida constante de neuronas parece ser incorrecta y una gran exageración: hay una cierta pérdida de sinapsis y conexiones como parte normal del envejecimiento, pero solo en el caso de demencias de inicio temprano y otras enfermedades cerebrales. La pérdida de masa cerebral refleja cualquier pérdida celular grave. De hecho, el cerebro sano continúa siendo “plástico” a lo largo de la vida, generando algunas células nuevas en ciertos dominios, mientras realiza nuevas conexiones y vuelve a conectarlas.

De esta manera, el cerebro replica el dicho, “*la forma sigue a la función*”, alterando su propia forma a medida que se vuelve a cablear y modifica su propia percepción y función en respuesta a entornos arquitectónicos y exposiciones ambientales. Varios estudios demuestran que tanto los procesos de desarrollo como los de enfermedades son susceptibles al medio ambiente de diferentes maneras a medida que el cuerpo envejece. Por lo tanto, los niños pueden ser más susceptibles a los subproductos nocivos o neurotóxicos de los procesos industriales o de construcción que los adultos; y que los efectos de

exposición son de por vida, viéndose manifestados más tarde en la edad adulta.

Los científicos ya han identificado muchas características del entorno que afectan al cerebro y cuerpo, y que contribuyen a la curación. Podemos comprender cómo, a medida que nuestros sentidos absorben los estímulos de los espacios que nos rodean, las diferentes partes del cerebro se activan y nos permiten ver y oír, tocar y oler. Podemos entender cómo las percepciones sensoriales desencadenan emociones que envían moléculas que fluyen a través del torrente sanguíneo y las células nerviosas. Y sabemos cómo esas moléculas pueden afectar el sistema inmunológico y su capacidad para sanar. Así que realmente podemos empezar a entender cómo el espacio y el lugar, y algo tan simple como una ventana con una vista de árboles, podrían cambiar el rumbo contra la enfermedad y acelerar el curso de la curación.

El cerebro está constantemente escaneando los objetos en su campo visual y su adecuación a las imágenes que residen en su memoria, la forma en que una computadora busca una palabra cuando se hace clic en la función “*buscar*”; el vínculo se ilumina y reconocemos lo que vemos, cuando se encuentra una coincidencia. El cerebro es una máquina de juego que almacena recuerdos y el reconocimiento de distintos tipos de objetos en diferentes lugares. Dependiendo de la categoría en la que su cerebro coloca el objeto, diferentes partes del cerebro que aumenta el flujo de sangre se convierten activos, las células nerviosas disparan impulsos eléctricos, los genes empiezan a hacer las proteínas, los productos químicos son liberados de las

terminaciones nerviosas y las células nerviosas dan la señal a la otra. Literalmente, conectamos los puntos y vemos el objeto.

Sorprendentemente, incluso hay una región del cerebro que se especializa en el reconocimiento de los edificios. Los pacientes que han tenido un derrame cerebral en esta área a menudo se pierden debido a que ya no se pueden reconocer los edificios como puntos de referencia, a pesar de que pueden identificar otros objetos. En los estudios de imágenes cerebrales de personas normales, esta pequeña área muestra un aumento en la actividad de las células nerviosas y el flujo de sangre cuando a una persona se le muestra una imagen de un edificio, pero permanece inalterada cuando la persona ve una cara o un coche.

Si observamos el curso de la teoría arquitectónica en los últimos 500 años, desde Alberti en adelante, vemos un proceso más o menos consistente en aumentar la abstracción y la racionalización. Los arquitectos pueden desear racionalizar las variables de diseño, pero las personas perciben en gran medida los edificios emocionalmente a través de los sentidos. Hapticidad es un término que tradicionalmente se ha atribuido al sentido del tacto, Jean Piaget se refirió a la percepción háptica como el proceso mediante el cual un niño, en una etapa temprana de desarrollo espacial, traduce las impresiones táctil-kinestésicas en una “*imagen espacial de tipo visual*”. Su contemporáneo James J.

Gibson enfatizó que la haptividad es un sistema que produce *“información sobre objetos sólidos en tres dimensiones”*.

El cerebro emocional es un buen lugar para comenzar esta consideración de los sentidos es con el fenómeno de la emoción, que ya es un componente del primer cerebro reptiliano. El psicólogo Joseph LeDoux define emoción como *“el proceso por el cual el cerebro determina o calcula el valor de un estímulo”*. La palabra *“valor”* en esta definición está cargada de connotaciones evolutivas. Sugiere un dispositivo de condicionamiento genético mediante el cual el cerebro evalúa rápidamente una amenaza (un animal peligroso) o una recompensa (la posibilidad de una comida) y responde de manera correspondiente. Las emociones, por lo tanto, son actividades genéticamente codificadas, químicas y neurológicas dirigidas a mantener nuestra homeóstasis, y en ciertos casos son esenciales para nuestra supervivencia. La risa, por ejemplo, libera químicos similares a la morfina en nuestro torrente sanguíneo llamados endorfinas, que inundan áreas específicas de nuestra corteza e inducen actividad neurológica que conduce a un estado altamente placentero que a su manera involucra *“el presente”*.

El neurólogo António Damásio subraya el hecho de que las emociones causan cambios en las condiciones homeostáticas de nuestro cuerpo, así como en las estructuras cerebrales de soporte que involucran el pensamiento. En efecto, son *“mapas multidimensionales”* que reflejan *“el estado interno del organismo”*. También distingue las emociones de los sentimientos. Si las emociones son las expresiones iniciales de los estados afectivos que los demás pueden observar, los sentimientos son simplemente la respuesta interpretativa (es decir, cerebral) del cerebro a una condición corporal excitada. Más explícitamente, un sentimiento es *“la idea del cuerpo de cierta manera”*, es

decir, una percepción real que tiene lugar en los “mapas del cuerpo del cerebro”. Damásio y sus colegas también estuvieron entre los primeros en tratar las actividades neurológicas de la emoción y los sentimientos a través de la tomografía por emisión de positrones o las exploraciones PET. Las emociones preceden a los sentimientos y se desencadenan en sitios como los núcleos del tronco encefálico (parte del cerebro reptiliano), la amígdala, el hipotálamo, el cerebro anterior basal y la corteza prefrontal. Los sentimientos involucran estas mismas áreas, pero también la corteza somatosensorial, la corteza cingulada y la ínsula. Lo interesante es que es un pliegue del lóbulo temporal en lo profundo de cada hemisferio y adyacente al sistema límbico. No solo se ocupa de los sentimientos, sino que también monitorea la experiencia sensorial.

¿Por qué sentimos la necesidad de rodearnos de luz y color, ya sea en nuestro entorno construido o en el mundo vivo que nos rodea? ¿Pueden la luz y el color afectar el estado de ánimo? ¿Pueden afectar a la sanidad? Si es así, ¿cómo?

La noción de que el color puede afectar el estado de ánimo no es nueva. Los colores en las paredes que nos rodean, en la ropa que usamos, en todos los objetos que vemos, así como las distintas longitudes de onda en la luz ambiental; todos pueden influir en nuestras emociones.

Sí, el color evoca las emociones, la asociación entre los dos es probablemente algo que hemos aprendido. Un color puede quedar fijado a un estado de ánimo cuando las células conos envían señales a los centros visuales del cerebro que reconocen el color, y en el camino algunos impulsos eléctricos

viajan a los centros emocionales del cerebro. El producto químico que se libera de las células nerviosas en estas partes del cerebro se llama dopamina.

### **3.1.4. Efectos de las formas en la psique humana.**

#### **3.1.4.1. Ansiedad y Calma**

Los arquitectos a través de la historia han trabajado, esforzándose por conseguir el mismo alimento neurológico a través de los elementos construidos. En el pasado las técnicas para lograr este objetivo se aprendían intuitivamente. La ciencia moderna revela los mecanismos por los que actúa esta interacción neurológica, por lo que podemos aprender a usarla de una manera más controlada.

Los entornos carentes de información neurológica imitan los signos de la patología humana. Por ejemplo lugares incoloros, superficies grises, espacios y superficies completamente minimalistas, reproducen sistemas clínicos de degeneración macular, acromatopsia, derrame cerebral y agnosia visual (Salingaros 2003, 2006). Sentimos ansiedad en estos entornos por que provocan en nosotros una sensación similar a la privación sensorial y la ruptura neurofisiológica, es curioso que el diseño arquitectónico en las últimas décadas haya venido incorporando cada vez más estas características, elementos y dispositivos que son parte de este vocabulario.

Nuestra construcción neurofisiológica está determinada genéticamente. Sin embargo después del nacimiento, nuestra red neuronal está determinada por el medio ambiente y el aprendizaje; por lo que dispone de propiedades adicionales y no genéticas. Estas propiedades incluyen el reconocimiento de patrones estructurales y funcionales. La base genética hace que las estructuras de aprendizaje sean posibles, pero favorece a un cierto tipo de estructura de

aprendizaje que se basa en la plantilla genética. Por lo tanto los componentes genéticos y los aprendidos por nuestra memoria y de los sistemas sensoriales funcionan como un todo sin fisuras actuando como un conjunto de respuestas innatas.

Todas las culturas tradicionales han construido espacios sagrados en los que se experimenta un alto grado de conexión. Los espacios sagrados nutren a quienes lo ocupan. Los amantes de la naturaleza pueden disfrutar de una trascendente conexión con ella. Las religiones antiguas explican este misterio sagrado como una comunión con la naturaleza. Algunas iglesias contemporáneas construidas con un estilo minimalista, se supone que representan la trascendencia. No hacen nada por el estilo, sin elementos naturales, sin arte figurativo o adornos, no logran involucrar al usuario en ninguna forma positiva.

Su campo informático solo comunica una privación sensorial, lo que provoca un malestar fisiológico. Lejos de trabajar en un nivel trascendente de la existencia humana, vemos formas impuestas que ignoran las necesidades de conectividad humanas. Así grandes espacios abiertos en las ciudades son psicológicamente inseguros, dichos espacios inducen a una amenaza y por consiguiente generan ansiedad.

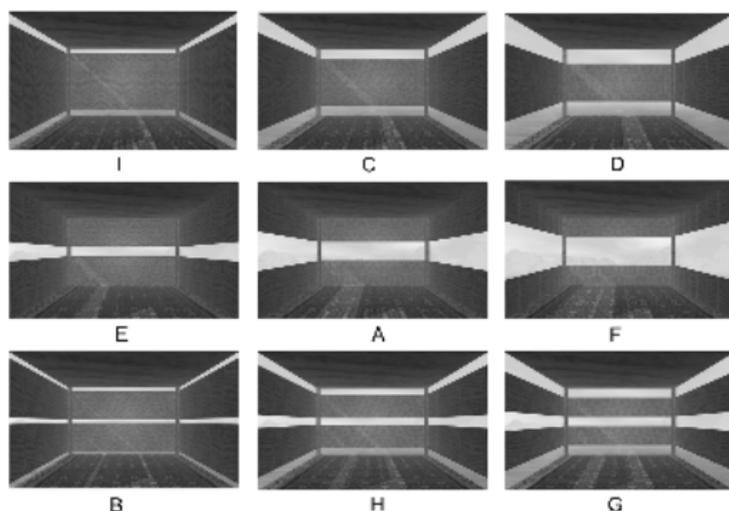
Lo mismo ocurre con las estructuras que se retuercen o que muestran desequilibrio, aquí nuestro sistema de percepción genera señales neurológicas de alarma. Tal vez estos edificios son interesantes al observarlos a lo lejos, pero

al tener que habitarlos el resultado a nivel fisiológico y psicológico es de ansiedad. Lo mismo ocurre con muros escarpados y suelos de cristal, el primero transmite una exclusión y falta de escape, y el segundo genera ansiedad y vértigo. La mayoría de los edificios contemporáneos tienen estas características, por lo tanto la sensación de bienestar en estos edificios no es tomada en cuenta. Las formas que inducen ansiedad están asociadas con el poder, la transgresión y el sadismo, por lo que su atractivo es el culto del poder. (Salingaros 2006)

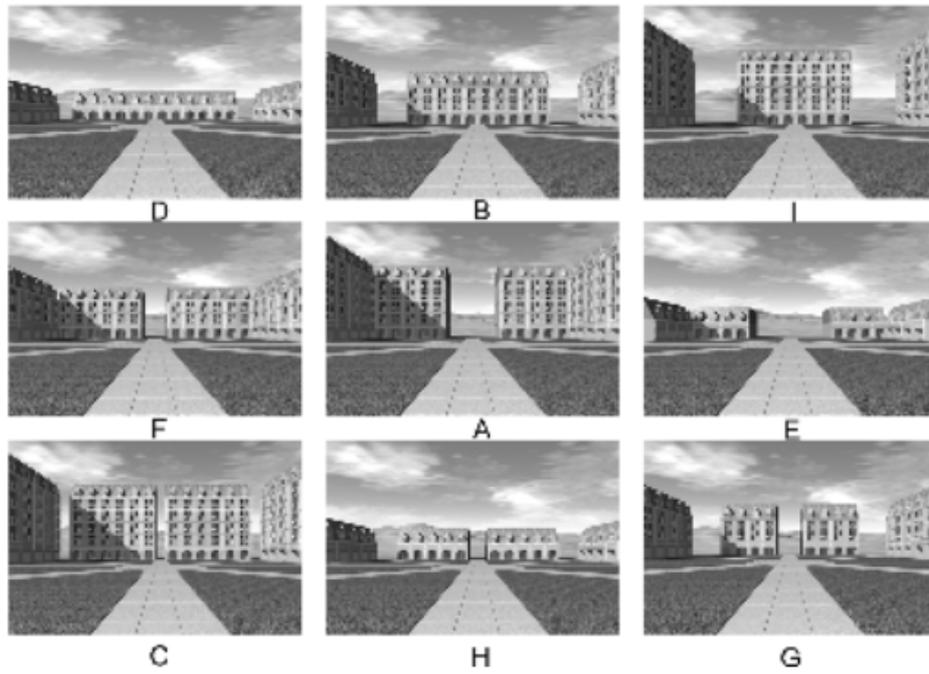
Es importante destacar que, a lo largo de la historia, algunos constructores de arquitectura monumental han reconocido y explotado deliberadamente los posibles efectos inmovilizadores de la arquitectura (Gastón Gordillo, 2014). Por ejemplo, es bien sabido que ciertos edificios monumentales nazis se diseñaron para que los individuos, tanto física como psicológicamente, se sintieran indefensos y pequeños, en un esfuerzo por debilitar la resistencia contra el nazismo. La gran longitud y la inmensidad de los pasillos en el *Neue Reichskanzlei* (Berlín, Albert Speer), por ejemplo, sirvieron para enanos y fatigados visitantes y dignatarios, mientras que sus suelos de mármol pulido y resbaladizo hacían que fuese precario para ellos ir rápido. En consecuencia, los académicos han especulado que parte de la función de tales edificios monumentales era “... *disminuir la capacidad de acción del cuerpo al abrumarlo, aturdirlo, adormecerlo, hacerlo maleable y, en definitiva, políticamente pasivo*” (Gordillo, 2014).

La arquitectura monumental del pasado tenía la finalidad de representar el poder de los líderes tanto políticos como espirituales. Caso contrario a lo que vemos hoy en día, ya que estas construcciones se usan con fines más pragmáticos tales como edificios de oficinas o torres de apartamentos. Lo cual es un tipo de construcción que se va incrementando año tras año y el cual se prevé que para el año 2050, la mitad de la población del planeta viva de esta manera. No deja de ser preocupante ver los estudios científicos sobre como este tipo de construcciones afectan psicológicamente a los seres humanos (Smith,2007).

Las emociones de estrés y ansiedad se manifiestan claramente en este tipo de arquitectura monumental, pero otro tipo de emociones como el encierro, el estar desprotegido, inseguro o atacado se pueden manifestar en espacios con una configuración cerrada (Stamps, 2005). En recientes estudios sobre neurología se ha descubierto que el cerebro responde a espacios cerrados, y más aún a espacios con pequeñas rendijas o pequeñas oberturas, tal como lo muestra la figura.



*Fig.1. Habitaciones con aberturas y su afcción en el comportamiento humano. (Stamps, 2005)*



*Fig.2. La imagen muestra los resultados del experimento. Los edificios de mayor altura generan la sensación de encierro. Mientras que los edificios mas bajos, dan la sensación de apertura. (Stamps, 2005)*

#### 3.1.4.2. Rascacielos y el miedo

En su trabajo sobre la investigación de edificios en altura y sus efectos en la psique humana, Joye y Dewitte, plantean la hipótesis de que la exposición a una arquitectura monumentalmente alta puede dar lugar a sentimientos típicamente asociados al estar ante un elemento de inmensidad excepcional (por ejemplo, asombro, miedo, sentirse pequeño) y conducir a la contrapartida conductual particular de esos sentimientos, es decir al bloqueo. Llevaron a cabo dos estudios piloto y dos estudios completos para probar sus hipótesis. En los cuatro estudios, los participantes vieron imágenes de edificios altos o bajos (artificiales o reales). En los estudios, también se manipuló la distancia al edificio para validar el hecho de que la proximidad de los edificios altos moderaría el efecto de congelación y las emociones asociadas al bloqueo.

La congelación prepara al organismo para escapar o para defenderse, (reacción similar a los efectos del estrés) mediante la optimización de los procesos visuales y atencionales a la amenaza. La congelación se caracteriza típicamente por hiper vigilancia hacia un estímulo o entorno amenazante, e implica de manera crucial un estado de inmovilidad general, lo que conlleva a una postura corporal tensa y a una rigidez muscular. Además, al permanecer inmóvil, el organismo amenazado evita ser descubierto o atraer aún más la atención del agente amenazador, reduciendo así el riesgo de ser capturado y asesinado. La congelación implica una especie de “inmovilidad alerta”, a diferencia de la inmovilidad tónica, la cual implica una “inmovilidad catatónica”.



*Fig. 1. La figura muestra los ejemplos utilizados en los experimentos piloto realizados por Joye y De Witte. El ejemplo de la izquierda un edificio considerado bajo para el experimento y el de la derecha, un edificio alto o rascacielos.*

### **3.1.4.3. Anti gravedad y ansiedad.**

Una manera de entender el comportamiento de nuestro cerebro es relacionándolo con el lenguaje de la naturaleza. Las formas orgánicas y los procesos naturales, funcionan con cierta armonía que afecta positivamente el proceso neurológico. La gravedad es una ley física que vemos y experimentamos en el mundo natural, nuestro cerebro interpreta esta información con lógica, por lo tanto cualquier forma que pueda representar lo antinatural, en este caso la anti gravedad o falta de gravedad, es un tipo de información que causa ansiedad, porque es un tipo de información algo difícil de asimilar para nuestro cerebro.

*“Hay algo profundamente inquietante en los edificios que consisten en las horizontales. Podemos entender esta reacción fisiológica / psicológica debido a la ansiedad causada por la anti gravedad. Se han construido una gran cantidad de edificios horizontales en todo el mundo, sus arquitectos ignoran nuestra reacción negativa hacia ellos. Además de afectar nuestros sentidos, este método mata el diseño*

*arquitectónico en tres dimensiones, ya que las fachadas de edificios no se pueden crear dentro de este paradigma de diseño estrecho.” (1)*

En la siguiente figura tenemos un ejemplo de uno de los grandes iconos de la arquitectura moderna como lo es la Villa Saboye de Le Corbusier. La estructura superior que vuela apoyada sobre columnas muy finas, da la sensación de inestabilidad y poderse desplomar.



*Fig. 4. Villa Saboye, le corbusier. 1929. Poissy, Francia.*

En 2006, la sociedad Americana para la Neurociencia en su encuentro anual en Atlanta, invitó al arquitecto Frank Gehry, a una serie de charlas llamadas: *“Diálogos entre la neurociencia y la sociedad”* esta serie de charlas fueron el resultado de anteriores encuentros en el que el Dalai Lama abrió una nueva ventana en el mundo neurocientífico al demostrar como las investigaciones y avances científicos afectan a la sociedad.

*“Gehry no se basa en principios neurocientíficos, pero intuitivamente aprovecha un elemento esencial y es el de cómo funciona el cerebro. Sabía*

*cómo crear características que maximizan la capacidad del cerebro para reconocer, responder, y recordar.” (2)*

Así como intuitivamente en el pasado los arquitectos intentaban plasmar esta comunión con la naturaleza, al intentar crear una conexión con algo que va más allá de lo humano. Hoy en día la motivación debido a la pérdida de valores culturales, es de carácter consumista, y de entretenimiento. Los arquitectos de hoy en día saben cómo dirigir al público a un consumismo influenciado por la disposición estructural, formal y estética, saben cómo mover las emociones del público en la misma forma que una película de cine o una melodía pueden llevarte a la ansiedad o a la incomodidad. Creando altibajos emocionales que al final generan una condición de estrés en los humanos.

Sternberg explica cómo Gehry en la sala de conciertos de Disney plasma este contraste en los saltos emocionales que generan sus formas. Expone que desde el exterior, lo que se ve es una estructura desarticulada y aguda, de vidrio y metal que da la sensación de cegar al visitante, generando una falsa expectativa al esperar que el interior fuese igualmente discordante, o quizás que estuviese hecho de los mismos materiales punzantes, duros e industriales. Pero una vez dentro de la sala de conciertos de Disney, el visitante puede experimentar la calma. El interior da la sensación de ser fresco y cálido. Si se entra por la taquilla, el visitante se encuentra con una estructura angular en forma de árbol que parece que sube hasta el techo, y su tronco y sus ramas

están revestidos con abeto de color amarillento pálido. A medida que los ojos del visitante se acostumbran a la luz del interior, se puede percibir la idea estar en un bosque lleno de árboles, ya que brillantemente disfrazan las columnas de apoyo y los conductos de ventilación. Incluso el techo alto y las paredes son de madera. Todas las líneas son curvas, lo que recuerda a las ondas del agua, y las ondas sonoras. Algunas partes de los pisos de travertino están cubiertos con alfombras de color ocre amarillento, y con imágenes que sugieren rosas multicolores. El efecto general es el de un bosque estilizado.



*Fig. 5. Walt Disney concert hall, California. Arquitecto Frank Gehry.*

A cada paso, el visitante se enfrenta a esta yuxtaposición de formas y colores que evocan la naturaleza. Y a cada paso, se vislumbra el mundo exterior. Desde el exterior, el edificio parece no tener ventanas, no hay vistas de la naturaleza. Y da la sensación de que es tan oscuro como el interior de un

mausoleo. Pero, de hecho, todos los espacios en el edificio, incluida la sala de conciertos, ofrecen una vista del mundo exterior a través de claraboyas de cristal y paredes perforadas.

*“Durante la mesa redonda en los “Diálogos entre la neurociencia y la sociedad”, le pregunté a Gehry sobre la tensión entre crear novedad y familiaridad en sus edificios. Observé que pueden generar señales tranquilizadoras, sin embargo, también generan lo opuesto, estrés, ansiedad, ya que son formas poco convencionales, y me pregunté si él incorpora funciones de diseño para gestionar esta reacción de estrés. Gehry dijo que era consciente de que sus edificios al ser experimentados de cerca, pueden causar ansiedad, ya que no se ajustan a las expectativas de cómo un edificio debe ser. Por esta razón, incluye elementos a los que llama ‘pasamanos’; elementos formales que le permiten al público orientarse y generar calma, como vistas exteriores o puntos de referencia dentro del edificio que generan estabilidad. Él dio con este dispositivo instintivamente. Tales elementos de diseño le permitieron reducir al mínimo la ansiedad generada por sus edificios, y mover a los espectadores desde una zona de incomodidad a una zona de excitación.” (Sternberg, 2009)*

Sí, el diseño arquitectónico debería tener la responsabilidad de ser estético, funcional e incluso significativo. Sin embargo, no debe detenerse allí. Es importante preguntarnos: ¿cómo puede un espacio arquitectónico o urbano elevar el potencial humano? En otras palabras, ¿cómo puede el diseño arquitectónico llegar más profundamente al alma, para ayudar a las personas a sentirse plenas?

La última pregunta es importante porque el diseño arquitectónico tiene el potencial de hacer aún más que ayudar a las personas a alcanzar la comodidad o una sensación general de bienestar. Y si bien estos son objetivos importantes para un proyecto de diseño, es vital darse cuenta de que la arquitectura y los entornos urbanos pueden hacer mucho más.

La responsabilidad que tenemos los arquitectos con la humanidad es la de crear armonía en nuestros diseños. Es curioso ver como ciertos arquitectos son conscientes del efecto que tienen ciertas formas en la psique humana y aun así continúan proyectando un lenguaje formal que no favorece al hábitat, pero sí a la teoría del diseño vanguardista. Para completar este tema sobre los efectos negativos de ciertas formas o configuraciones arquitectónicas, encuentro muy interesante compartir parte del debate entre Christopher Alexander y Peter Eisenman en el que contrastan conceptos sobre la armonía en la arquitectura.

*“El debate: ‘Contrastando conceptos sobre la armonía en arquitectura’.*

*Peter Eisenman: Estoy hablando de gente como Roland Barthes, Michel Foucault, Jacques Derrida.*

*Christopher Alexander: ...Pero lo que dicen estos posmodernistas y estructuralistas no es lo mismo que dije anoche. ...las palabras son muy; muy baratas...Ahora, miro los edificios que pretenden venir desde un punto de vista similar al que he expresado, y lo principal que reconozco es que, sean cuales sean las palabras, el argumento intelectual detrás de esas cosas, los edificios reales son totalmente diferentes. Diametralmente opuestos. Tratan asuntos completamente diferentes.*

*PE: ...Me acordé de esto cuando fui a España este verano para ver el ayuntamiento de Logroño por Rafael Moneo. Hizo una galería donde las columnas eran demasiado delgadas. Fue profundamente inquietante para mí cuando vi por primera vez fotografías del edificio. Las columnas parecían demasiado delgadas para una galería alrededor del patio de un espacio público. Y luego, cuando fui a ver el edificio, me di cuenta de lo que estaba haciendo. Se estaba alejando de algo que era demasiado grande, logrando un efecto que expresa la separación y fragilidad que el hombre siente hoy en relación con la escala tecnológica de la vida, las máquinas y el entorno dominado por el automóvil en el que vivimos.*

*CA: Desafortunadamente, no conozco el edificio que acabas de describir. Tu descripción me suena horrible. Por supuesto, sin verlo realmente, no puedo decirlo. Pero si sus palabras transmiten algo parecido a cómo es realmente la cosa, me parece que este es exactamente este tipo de lugar extraño y espinoso, al que por alguna razón algún grupo de personas ha elegido ir hoy en día.*

*Lo que me sorprende del edificio de tu amigo, si te entendí correctamente, es que de alguna manera intencional no es armonioso. Es decir, Moneo intencionalmente quiere producir un efecto de desarmonía. Quizás incluso de incongruencia.*

*PE: Eso es correcto.*

*CA: Me parece incomprensible. Lo encuentro muy irresponsable. Lo encuentro chiflado. Lo siento por el hombre. También me siento increíblemente enojado porque está jodiendo el mundo.*

*PE: Me gustaría sugerir que si no estuviera aquí agitando, nadie sabría cuál es la idea de armonía de Chris, y todos ustedes no se darían cuenta de lo mucho que están de acuerdo con él ... Walter Benjamin habla sobre "el carácter destructivo", que, dice, es la fiabilidad en sí misma, porque siempre es constante. Si reprimes la naturaleza destructiva, va a salir de alguna manera. Si solo estás buscando armonía, las desarmonías e incongruencias que definen la armonía y la hacen comprensible nunca*

*se verán. Un mundo de armonía total no es armonía en absoluto. Gracias a mi existencia, puedes entender tu necesidad de armonía, pero no digas que soy irresponsable o me juzgues moralmente de que arruino el mundo, porque no quisiera tener que defenderme como un imperativo moral ante ti.*

*CA: ¡Dios mío!*

*PE: Tampoco deberías sentirte enojado. Creo que deberías sentir que esta armonía es algo que la mayoría de la gente necesita y quiere. Pero igualmente debe haber personas como yo que sientan la necesidad de incongruencia, falta de armonía, etc.*

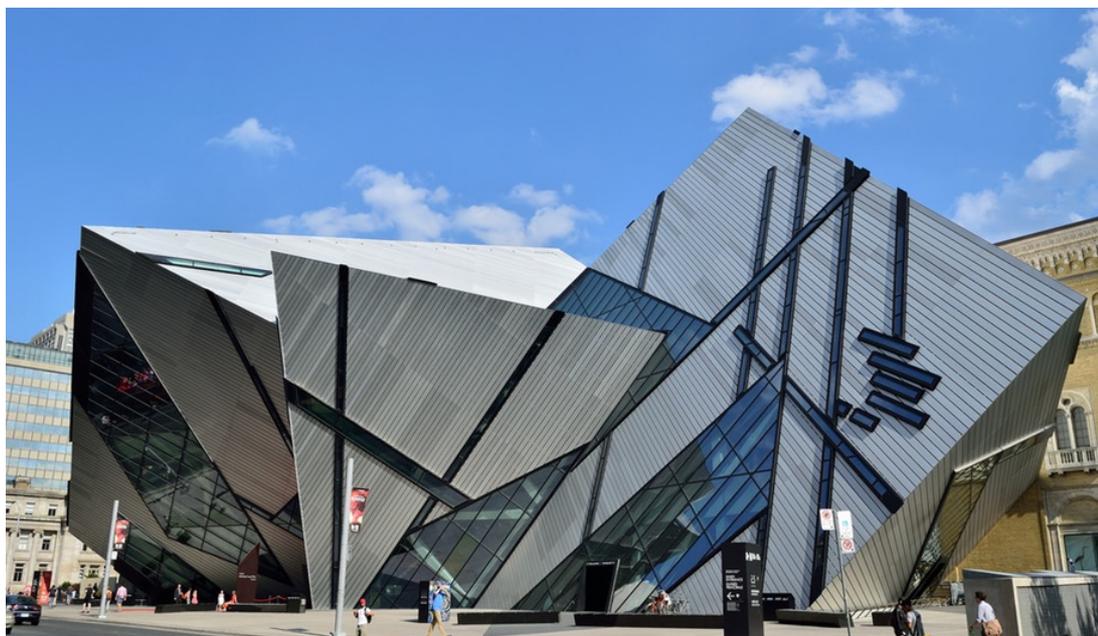
*CA: Si fueras una persona sin importancia, me sentiría bastante cómodo dejándote seguir tu propio camino. Pero el hecho es que la gente que cree como tú, realmente está jodiendo toda la profesión de la arquitectura en este momento al propagar estas creencias. Pero el hecho es que a nosotros, como arquitectos, se nos ha confiado la creación de esa armonía en el mundo.*

*PE: ...Igualmente, no creo que el camino a seguir, como usted sugiere, sea construir estructuras para que las personas se sientan cómodas, para evitar esa ansiedad. ¿Qué debe hacer una persona si no puede reaccionar contra la ansiedad o verla representada en su vida? Después de todo, para eso están todos esos personajes malvados de Struxwelpeter en los cuentos de hadas alemanes.*

*CA: ¿No crees que hay suficiente ansiedad en este momento? ¿Realmente crees que necesitamos fabricar más ansiedad en forma de edificios?*

*PE: ...Lo que estoy sugiriendo es que si hacemos que las personas se sientan tan cómodas en estas pequeñas y bonitas estructuras tuyas, podríamos calmarlas para que piensen que todo está bien, Jack, que no lo es. Entonces, el papel del arte o la arquitectura podría ser solo recordarle a la gente que no todo estaba bien. Y, por cierto, no estoy convencido de que todo esté bien.” (3)*

El mensaje es muy claro y un comentario puede ser innecesario, lo único a agregar es mostrar dos vertientes de pensamiento muy claras Alexander asumiendo la responsabilidad del papel del arquitecto en la sociedad y abogando por crear armonía espacial; y la otra vertiente en que la arquitectura se puede ver como una manera de expresión artística produciendo formas muy similares a las esculturas, en las que prima el deseo de transmitir un mensaje por parte del diseñador, hecho en el que se obvia al protagonista de esta historia, al hombre y su bienestar.



*Fig. 6. Museo real de Ontario, Toronto, 2007, Arquitecto Daniel Libeskind.*

#### **3.1.4.4. Sonido como un componente de estrés ambiental.**

El campo de la acústica proporciona un ejemplo útil de la intersección entre la neurociencia y la arquitectura, ya que consolida el conocimiento de la propagación física del sonido con la comprensión de la respuesta humana al habla, los sonidos de fondo y el impacto del ruido no deseado. El ruido es un estresante ambiental bien reconocido que pone en riesgo a todos los usuarios. Más allá de las pautas acústicas ya consideradas en programas sostenibles, las investigaciones han revelado que el ruido no deseado, a niveles de intensidad inferiores (a los que se sabe que causan pérdida auditiva inducida por el ruido) puede alterar las respuestas inmunes, cardiovasculares, endocrinas, del sueño, emocionales y cognitivas.

Incluso los niveles de sonido bajos, si no son deseados, compiten o son perturbadores, pueden estar asociados con una disminución de la inteligibilidad del habla, una cognición disminuida y falta de descanso, junto con un aumento de las respuestas al estrés.

La asociación de Expertos Ambientales encontró una tendencia constante hacia un mayor riesgo cardiovascular si los niveles de ruido durante el día exceden los 65 dB. Se han observado reacciones de estrés crónico, como alteraciones del cortisol, en niños con exposición a ruido de tráfico de baja frecuencia a largo plazo, promediado a menos de 55dB

### **Conclusión.**

En conclusión, los espacios o formas que causan estrés al cerebro generan ansiedad. Un aspecto muy importante de esta percepción que hace nuestro cerebro tiene que ver con la coherencia, la lógica y la escala universal, características que vemos reflejadas en la disposición de las formas geométricas de la naturaleza. Este claro ejemplo lo podemos ver en la formación de los fractales, a los cuales podríamos llamar como el lenguaje de la naturaleza. La coherencia en un fractal se ve reflejada en como una misma forma se va magnificando o minimizando en escala. Este tipo de patrón nutre nuestro proceso neuronal, ya que la información que recibe le es fácil de procesar. Un mismo modelo que se repite infinitamente ya sea en escala ascendente o descendente, es el tipo de información que crea calma.

El caso contrario son los elementos aleatorios o sin ningún tipo de escala jerárquica. Representan un exceso de información que causa estrés a nuestro cerebro y esto conlleva a una ansiedad. Este tipo de inputs se pueden ver reflejados en la arquitectura postmodernista y deconstructivista. En ellas el exceso de información sin ningún tipo de orden en las escalas, sin simetrías, sin autosimilitud y con carencia de formas geométricas naturales, generan saturación de datos en nuestra psique, ya que son elementos difíciles de leer.

### 3.1.5. Patrones como códigos.

En este apartado, la tesis expondrá una serie de elementos que considero que por su alto contenido de información neurológica se pueden introducir favorablemente dentro del proceso de diseño arquitectónico, aportando mucha información relevante y que de alguna manera mejoraría la calidad espacial de este, acercándonos más a los sistemas naturales.

#### 3.1.5.1. Códigos utilizados para crear vida:

Los códigos generativos siguen esta ley, como el ADN en la creación de un embrión, siguiendo una instrucción codificada para cada paso. O como un algoritmo que sigue ciertas reglas que van paso a paso. Los códigos nos ayudan a alcanzar uno de varios resultados finales, evitando los no deseados.

El ADN es la información codificada para toda la estructura biológica que crea la vida a través de los códigos genéticos; el mismo proceso se puede llevar al diseño arquitectónico y urbano. Nikos Salingaros lo describe de esta manera en su serie de conferencias sobre arquitectura:

*“El desarrollo del embrión utiliza tanto la información del ADN como la geometría existente de la configuración en cada paso.” (4)*

*“La necesidad de algoritmos adaptativos:*

*Los arquitectos deben aplicar algoritmos que adapten la estructura a las necesidades humanas.*

*Algoritmos simples conectan lenguajes de patrones para formar idiomas.*

*El proceso genera con éxito un diseño adaptativo y corrige formas irrelevantes que han dañado la memoria.*

*Usar un banco de memoria probado que archive soluciones evolutivas, puede ser tan bueno o mejor que calcular una nueva solución.*

*Sin embargo, cuando los bancos de memoria arquitectónicos están dañados, debemos volver a calcular las soluciones. Los lenguajes de patrones evitan esta corrupción...” (5)*

Nuestra biología debería determinar el diseño de los entornos físicos que habitamos. Como seres humanos, necesitamos conectarnos con estructuras vivas en nuestro entorno. La arquitectura del siglo XVII al XX, pudo plasmar e incorporar estos aspectos curativos en el espacio habitable. Debido al enfoque industrial de la construcción, los arquitectos han cambiado esta perspectiva más humana en relación con la sincronidad con el entorno construido, lo que ha llevado a una carencia de alimento neurológico en la arquitectura contemporánea. El diseño biofílico considera los procesos inclusivos, “procesos ascendentes, de abajo hacia arriba” necesarios para mantener nuestra salud. Cuando una pieza pequeña es coherente con el resto de la estructura, esta permite a las personas conectar con su entorno y así, crear una atmósfera positiva y curativa. La biofilia nos muestra cómo nuestra herencia evolutiva nos hace experimentar los edificios de una manera más visceral, y no como una mera abstracción intelectual.

### 3.1.5.2. Biofilia y teoría restaurativa.

*“El diseño biofílico no trata solo de reverdecer los edificios o simplemente el aumentar su atractivo estético aumentando el uso de árboles y arbustos. Va mucho más allá, intenta mostrar cuál es el lugar que ocupa la humanidad en la naturaleza y viceversa, el que ocupa el mundo natural en la sociedad humana”.*

*Stephen R. Kellert y Judith H. Heerwagen.*

Edward Wilson en su libro *Biofilia* (1984), propone la incorporación de la vida orgánica en el medio ambiente construido como parte esencial de este. La evidencia empírica confirma que los diseños que conectan a los seres humanos con la naturaleza incrementan la sensación general de bienestar, con resultados positivamente terapéuticos sobre su fisiología.

*“El estudio de las características geométricas del tipo de complejidad visual responsable de los efectos positivos revela su similitud con las estructuras biológicas. La aplicación de estos conceptos a la arquitectura nos lleva a dos conclusiones distintas. En primer lugar, de que llevemos lo más que podamos de la naturaleza a nuestros entornos cotidianos, para así poder experimentarlos de primera mano; y segundo, es que hay que dar forma a nuestro entorno construido para incorporar esas mismas cualidades geométricas de la naturaleza.”(Salingaros, 2006)*

Una de las finalidades del diseño biofílico, es la de crear un espacio que pueda eliminar eficazmente el estrés y la ansiedad del entorno construido; esto se logra manteniendo conexiones con la naturaleza. La idea central se basa en crear espacios y lugares que apoyen la salud y el bienestar humano, es una

especie de renacimiento en el proceso de diseño que nos llevará a repensar el por qué construimos edificios y ciudades.

*“El diseño integrador es como un mantra de prácticas holísticas sobre la sostenibilidad, muy necesarias pero raramente logradas. Mantener entornos verdaderamente curativos no es diferente. Para disgusto de los profesionales comprometidos con el diseño biofílico basado en evidencia, como los primeros (y aún provocativos) defensores de los edificios ecológicos de alto rendimiento, los entornos verdaderamente biofílicos no se logran a través de características, tecnologías y vegetación adicionales; a través de métodos prácticos de diseño, argumenta el matemático Nikos A. Salingaros, sino que va más allá, afirmando que la estructura de un edificio debe esforzarse por ser curativa.”*

Existen dos teorías que ayudan a explicar el efecto biofílico en nosotros, tal como las expone Salingaros (7).

*“La primera es la idea de que el instinto biofílico proviene de una memoria heredada, a través de nuestra evolución y desarrollo en el ambiente de la sabana muchos siglos atrás. La sabana consta de praderas abiertas, arbustos, árboles dispersos, mucha luz solar, cuerpos de agua, animales de pastoreo, etc. Nuestros antepasados se basaron en la información obtenida de esas características para perfeccionar su capacidad de supervivencia. Primero nos hicimos humanos en ese entorno, codificando genéticamente sus cualidades geométricas. La sofisticación de nuestro desarrollo físico y mental progresó durante milenios sin perder rastros de la sabana en nuestra memoria e instintos heredados.*

*La segunda teoría proviene de la propia estructura biológica: las reglas geométricas de las formas biológicas con las que compartimos una plantilla. Se cree que esta estructura provoca una respuesta general en humanos de "parentesco" reconocible que atraviesa la división entre la forma viva y la inanimada. Los*

*mecanismos de la estructura viva son los mismos o son paralelos a la organización básica de los sistemas biológicos. La biofilia, por lo tanto, combina las propiedades geométricas y los elementos del paisaje con estructuras complejas que se encuentran en todas las formas vivas y son comunes a todas ellas.”*

Los órganos sensoriales del ser humano evolucionaron para responder a las geometrías naturales, que se caracterizan por los colores, los fractales, las escalas y las simetrías complejas. Afinados para distinguir los aspectos positivos (comida, amigos, compañeros) de los aspectos negativos (amenazas) en el medio ambiente, nuestros sistemas perceptivos generan emociones positivas a partir de entornos que resuenan con nuestros instintos biofílicos. Por ejemplo, los experimentos en hospitales muestran una curación postoperatoria mucho más rápida y una menor necesidad de medicamentos para el dolor en pacientes con habitaciones cuyas ventanas dan a espacios naturales (Ver anexo I “Ulrich, 1984” y Salingaros, 2015). Los hospitales y sanatorios que se remontan a la antigua Grecia se ubicaron en entornos naturales, y parte del tratamiento médico exitoso una vez típicamente incluía el pasar el tiempo en jardines y debajo de árboles.

Nuestro cuerpo reacciona a la ausencia de geometría natural y equilibrio estructural con los efectos de la ansiedad, que si es prolongada nos puede llevar a una enfermedad como es la depresión crónica. La evidencia se acumula para apoyar la sabiduría tradicional que advierte sobre el deterioro social y mental en un entorno privado de características naturales (ambientes minimalistas que ofrecen una nutrición escasa), estabilidad geométrica y variedad ornamental.

### 3.1.5.2.1. Ocho puntos sobre el efecto Biofílico.

Según Salingeros existen 8 factores principales que contribuyen a experimentar el efecto biofílico en los seres humanos. Nuestro anhelo de luz natural se denomina apropiadamente “fotofilia”, y para ambientes naturales se conoce como “topofilia”. Sin embargo, es muy útil agrupar todas estas respuestas fisiológicas bajo un término más amplio como lo es biofilia:

*“LUZ. Buscamos luz natural, preferiblemente desde diferentes ángulos para que las sombras no disminuyan nuestra visión estereoscópica, necesaria para formar imágenes tridimensionales y percepción de profundidad. La luz natural no es simplemente esencial para percibir y luego evaluar nuestro entorno: nuestra piel requiere luz solar para fabricar vitamina D, crucial para nuestro metabolismo. Poseemos dos órganos que requieren luz solar: nuestros ojos y nuestra piel. Nuestros ritmos circadianos (nuestra percepción instintiva del tiempo, nuestros “relojes internos”) están regulados por la luz solar en los ojos y la piel, que controla nuestro ciclo de sueño a través de la secreción de melatonina. Cada vez que se alteran nuestros ritmos circadianos (como en el desfase horario), nuestros cuerpos se fatigan crónicamente y no pueden funcionar correctamente. Necesitamos luz solar para volver a configurarlos.*

*COLOR. La pigmentación de intensidad parcial pero con armonía general genera un efecto saludable. La percepción del color es uno de nuestros sentidos (incluidos los receptores en nuestros ojos y las vías de procesamiento en nuestro cerebro) que se vincula directamente con nuestras emociones. Los humanos evolucionaron en luz natural que varía en coloración de rojo a naranja a azul, dependiendo de la hora del*

*día. Esto describe el tono de la luz incidente. El color de las plantas, animales, rocas, etc., formó nuestra preferencia de colores en el medio ambiente.”*



*Fig. 7. Los Clubes - Cuadra San Cristóbal y Fuente de los Amantes. Luis Barragán. México. 1969.*

*“Experimentamos el color tanto en la calidad transmitida de la luz como en el reflejo de las superficies pigmentadas. Los efectos psicológicos del color son profundos, y son utilizados (y abusados) ampliamente por la industria publicitaria. Los diseñadores de interiores emplean colores y armonías de colores para afectar el estado de ánimo psicológico de las personas. El entorno gris e incoloro está asociado por el ojo de nuestra mente con enfermedad, descomposición y muerte.” (8)*

*“GRAVEDAD. Sentimos y nos relacionamos con el equilibrio a través de la gravedad. Las plantas y los animales crecen en gravedad, por lo que sus formas muestran un exquisito equilibrio vertical. En estructuras naturales, las partes más pesadas están en la parte inferior y las partes más ligeras en la parte superior.*



*Fig. 8. Un claro ejemplo en la naturaleza de estructuras que presenta una base más pesada es el ejemplo de la montaña. Arunachala, Tiruvanamalai, India. Foto: Dev Gogoi.*

*Nuestro cerebro calcula automáticamente el equilibrio gravitacional de las formas que nos rodean. Todos los objetos en la naturaleza existen en equilibrio gravitacional, y esto informa nuestra reverencia mental por las estructuras estables. La perspectiva forzada, donde la escala se reduce deliberadamente a medida que se eleva la mirada, se usa en la arquitectura tradicional y los escenarios. Esta perspectiva exagerada "tranquiliza" a nuestro cuerpo del equilibrio gravitacional que nos rodea, reduciendo el estrés. Por el contrario, su desequilibrio provoca ansiedad e incluso náuseas. Nuestro mecanismo de equilibrio se centra en nuestro oído interno. Por esta razón, las náuseas se desencadenan exactamente de la misma manera en el caso del desequilibrio (pérdida percibida de equilibrio) como en el caso del cuerpo envenenado por una ingestión de toxinas.*



*Fig. 9 Columnas dóricas en el Partenón de la Acrópolis de Atenas, un claro ejemplo de estructuras arquitectónicas que representan este efecto de la gravedad.*

*FRACTALES. Un fractal codifica la estructura geométrica en muchos niveles vinculados diferentes: no tiene una escala preferida, por lo tanto, cualquier estructura no tiene escala. Las hojas de helecho y las coliflores son ejemplos. Muchas escalas están presentes en un fractal, con una estructura compleja que se muestra con cualquier aumento. Un fractal contiene subdivisiones de estructura bien definidas en una jerarquía ordenada de escalas, desde el tamaño grande hasta el tamaño de sus detalles. Gran parte del tejido orgánico vivo es fractal, por ejemplo, el sistema nervioso, el sistema circulatorio y el sistema de paso de aire ramificado del pulmón. Reconocemos y respondemos positivamente a las estructuras fractales porque nuestros propios cuerpos tienen estas en común con otros animales y plantas. Esta similitud nos vincula cognitivamente a estructuras que siguen los mismos principios geométricos, como paisajes, árboles, arbustos y animales. Por otro lado, reaccionamos mal a las estructuras que no son fractales: los objetos o entornos lisos o brillantes crean alarma.*

*Esta incomodidad ocurre porque su minimalismo contradice las estructuras y patrones fractales que estamos acostumbrados a experimentar en entornos naturales (9).*

*CURVAS. Las formas curvas se encuentran en todas partes en la naturaleza, donde de hecho es difícil encontrar una línea recta. Nuevamente, las curvas surgen de la estructura biológica de animales y plantas, y también de ambientes naturales inanimados donde la materia está formada por fuerzas tectónicas. Las curvas suaves están matemáticamente en desacuerdo con los tipos de fractales angulados (“rotos”) que se encuentran en los árboles y en los patrones desgastados de los materiales naturales. El entorno natural exhibe formas fractales o curvas, o una combinación. No esperamos líneas rectas o ángulos rectos en la naturaleza. Dado que nuestros mecanismos de respuesta neurológica están conectados, obtenemos placer emocional de las curvas que poseen un equilibrio natural a través de la simetría. Sin embargo, las curvas en el entorno que están desequilibradas gravitacionalmente pueden ser inquietantes.*

*DETALLE. En la escala más íntima, con el brazo extendido y más cerca, los detalles complejos altamente organizados son visibles y tocables en toda la naturaleza. Nuestro sentido del tacto requiere que estemos cerca de una superficie o estructura para recuperar información de los niveles de escala más detallados. Nos centramos en el más mínimo detalle, estructuras y texturas naturales bien definidas, como vetas en piedra (plantas y animales fosilizados), grano de madera, ramas y hojas en los árboles, etc. Esperamos encontrar el mismo tipo de detalle estructural complejo en un entorno artificial, ya que nuestros mecanismos de percepción están finamente ajustados para procesar tales señales. De hecho, mire la parte inferior de una hoja y verá que sus venas muestran, en el nivel visible más pequeño, una red fractal que se asemeja a una cuadrícula urbana irregular. Los materiales naturales emergen como*

*fractales y proporcionan información orgánica interesante a una distancia cada vez más pequeña, aumentada por nuestra capacidad de tocarlos. Para comunicarse con los animales (incluidos los humanos), nos enfocamos en sus ojos, pupilas, labios y fosas nasales (y las orejas de gatos y perros). La “comunicación subliminal” cuando se encuentra cara a cara con otro humano depende de las sutiles señales anatómicas que recibimos de tales detalles. La respuesta significativa a otra vida ocurre a través de pequeños detalles, lo que nos predispone a centrarnos en ellos. Transferimos al entorno construido nuestra inclinación a otorgar importancia a los pequeños detalles. Nos sentimos aislados de este mecanismo cuando experimentamos estilos arquitectónicos que en gran medida carecen de detalles o tienen detalles que existen en forma de textura aleatoria, caótica e intuitivamente indescifrable.*

*AGUA. La presencia de agua puede ser curativa. A los seres humanos les encanta ver agua, y aún mejor, escucharla y sentirla. Quizás la necesidad de estar cerca del agua es una garantía de que tenemos suficiente agua para beber, porque sin agua no podemos sobrevivir. Podría ser un vestigio de las corrientes y lagos en nuestro entorno ancestral. Sin embargo, la estricta necesidad no explica la alegría de visitar el mar salado. Las personas de todo el mundo van a la playa y disfrutan de un paseo marítimo a lo largo de la costa. Una vasta industria turística mundial está impulsada por las vacaciones en la costa y el placer obvio de los viajes en embarcaciones acuáticas, desde veleros hasta cruceros. (Si bien no es biofilia en el sentido directo de atracción por las formas vivas, el efecto se incluye en este grupo por la fuerza del paralelo).*

*VIDA. El contacto real e íntimo con las formas vivas nos nutre. Este es el significado más obvio de la biofilia. Anhelamos la compañía de plantas, animales y otros humanos. Esta no es una de las características de un edificio per se, pero sirve para*

*alentar al usuario del edificio a interactuar con el entorno natural. Por ejemplo, encerrar un jardín en el patio o rodear un edificio con árboles y arbustos íntimamente entrelazados, proporciona acceso inmediato a la naturaleza. No es meramente decorativo. El efecto biofílico nutre y se nutre de actos tan simples como llevar una planta en maceta al interior. Esto no tiene nada que ver con la estructura o el diseño de un edificio en sí mismo, excepto que los edificios que cortan el aire fresco y la luz inhiben la supervivencia de las plantas. (Los humanos así atrapados también podrían ser cautelosos).*

*Estas ocho descripciones muestran cómo se puede aplicar el efecto biofílico para ayudar a diseñar edificios propicios para la salud. La biofilia refleja la respuesta intuitiva natural de los humanos a su entorno. A veces se confunde con lo que podría llamarse biomimética, que aplica copias inertes de estructuras naturales a la piel de un edificio. Un edificio que presenta, digamos, filas de fragmentos idénticos en su fachada podría parecerse a una concepción caprichosa de los fractales, pero esto no mejorará la influencia del edificio en el bienestar de sus usuarios. Para impartir un efecto curativo, un arquitecto debe aplicar pautas básicas para generar elementos biofílicos específicos, y no solo imitar alguna forma orgánica. Eso no es suficiente. Tomando los ocho puntos anteriores como una lista de verificación del diseño aproximado de las propiedades biofílicas, podemos generar criterios para evaluar los aspectos de la arquitectura construida y no construida que inducen a la salud.*

*Christopher Alexander observó que “crear con integridad cura al creador” (Alexander, 2001-2005; Salinas, 2012). El acto de crear una estructura biofílica en nuestro entorno es curativo para el arquitecto, independientemente de la experiencia de los usuarios de la estructura después de su construcción. Para el*

*diseñador, el sentimiento de logro, satisfacción y alegría son curativos. Si la estructura en sí surge de procesos que reflejan la adaptabilidad biofílica, entonces los actos de concebir una idea para un edificio, dibujarlo en papel, pensarlo, planificar su construcción y realmente construirlo son igualmente curativos para el diseñador y todos los involucrados. La biofilia de la estructura genera una respuesta saludable a lo largo de todo el andamiaje de pequeños actos mentales y físicos que se suman y constituyen el proyecto arquitectónico completado.*

*Sin embargo, pocos arquitectos convencionales hoy en día practican el diseño biofílico, por lo que se pierden esta retroalimentación nutritiva. Creo que Alexander, en su concentración en la generosidad intuitiva de construir lugares para las personas, descuidó el lado oscuro de la naturaleza humana, donde también se obtiene satisfacción al destruir la estructura viviente (Buckels et al., 2013; 2014). Este lado destructivo e incluso autodestructivo es un tema a considerar por la psicología. Debemos esperar la investigación para describir el funcionamiento de este lado más oscuro del diseño. (Ver anexo II)*

*Tenga en cuenta que la crueldad es algo que se practica solo en organismos vivos: uno no puede ser cruel con una roca. El diseño biofóbico es lo opuesto al diseño biofílico. Se puede interpretar como un acto de crueldad. La víctima aquí no es un clavo o la tabla en la que está siendo golpeada, ni el martillo es un villano; las víctimas son las personas que eventualmente deben experimentar estructuras biofóbicas. Cuando los arquitectos obtienen placer de la práctica de crear lugares con poca o ninguna vitalidad humana o retroalimentación saludable, ya sea para los usuarios o para los propios arquitectos, planteamos preguntas alarmantes sobre la motivación psicológica.” (10)*

### 3.1.5.2.2. Teoría Restaurativa.

Los investigadores sostienen que las experiencias restaurativas implican la recuperación de la capacidad de “dirigir la atención” o “concentrarse”. Esta capacidad se despliega en tareas que requieren una concentración profunda, como la revisión o el estudio. La atención dirigida puede caracterizarse por diferentes cualidades: el requerir esfuerzo para lograr el enfoque; estar bajo control voluntario; ser susceptible a la fatiga; e inhibir las actividades que puedan generar distracción.

Los ambientes naturales (por ejemplo, montañas, parques, zonas costeras, etc.) son destinos muy populares por estar alejados y por liberarse de las fuentes que requieren atención dirigida, como el trabajo. En segundo lugar, los entornos naturales a menudo son intrínsecamente fascinantes: mantienen a la mente interesada sin esfuerzo y, por tanto, se centran en la atención dirigida. Pensemos, por ejemplo, en la fascinación que provoca la observación de una cascada, una cordillera o la fauna (algo que no genera la sensación de amenaza). En tercer lugar, los entornos naturales suelen ser grandes en extensión, y por lo tanto ofrecen a la mente fatigada suficiente “material” para relajarla sin esfuerzo. En cuarto lugar, la naturaleza es a menudo altamente compatible con las inclinaciones humanas. Kaplan (1995) menciona cómo las personas sienten que funcionan con menor esfuerzo en entornos naturales que en entornos urbanos o civilizados, (aunque estén más familiarizados con estos últimos).

### 3.1.5.2.3. La atención plena.

Roger Ulrich en su artículo de 1983 “Respuesta estética y afectiva al medio ambiente natural”. Basado en el trabajo de Zajonc (1980), argumentó que la respuesta inicial de las personas hacia un entorno es de afecto o aversión generalizada, que ocurre sin un reconocimiento o procesamiento consciente del entorno. Las respuestas afectivas positivas iniciales se producen cuando las características ambientales específicas o los prefijos están presentes en el medio ambiente. Estas características incluyen la presencia de contenido natural (por ejemplo, vegetación), así como características más estructurales como la complejidad, características estructurales gruesas (por ejemplo, simetrías), señales de profundidad y espacialidad, una textura uniforme de la superficie del suelo, vista desviada (por ejemplo, un camino que se dobla) y ausencia de amenazas. Las respuestas afectivas positivas rápidas a estas características inician el proceso restaurativo porque proporcionan un respiro del estrés, acompañado de gusto y niveles reducidos de excitación y sentimientos negativos como el miedo. Si la escena atrae suficiente interés, puede tener lugar un procesamiento cognitivo más consciente del entorno, lo que puede dar como resultado una experiencia restauradora más consciente y deliberativa.

Se ha prestado bastante atención a la influencia de la naturaleza en los contextos sanitarios. Por ejemplo, el artículo frecuentemente citado en *Science*, por Roger Ulrich (1984) analiza un estudio de pacientes de hospitales que se habían sometido a una operación de vesícula biliar y unos tenían

habitaciones con vistas hacia un pequeño grupo de árboles, mientras que los otros tenían vistas hacia una pared de ladrillos. (Ver Anexo I)

A diferencia de los pacientes con vista hacia la pared de ladrillos, Ulrich descubrió que los pacientes con vistas hacia los árboles tenían estadías hospitalarias más cortas, recibían menos comentarios negativos de las enfermeras, necesitaban menos analgésicos y tenían menos complicaciones postoperatorias. Del mismo modo (Ulrich et al. 2003) descubrieron que los sujetos que se sometieron a un procedimiento estresante (donación de sangre) tenían frecuencias de pulso más bajas cuando veían televisión con escenas de la naturaleza en una sala de espera, a diferencia de los sujetos que habían visto escenas urbanas. (Whall et al. 1997) proporcionan evidencia de que la agitación en pacientes con demencia en etapa tardía disminuía durante la ducha, cuando los sujetos podían usar cuartos de baño que contenían referencias a elementos naturales (es decir, sonidos e imágenes de la naturaleza). Este efecto no se produjo en los cuartos de baño que carecían de este contenido natural.

De acuerdo con esto, (Diette et al. 2003) encontraron que la exposición a las vistas y sonidos de la naturaleza reduce el dolor en los pacientes durante la prueba de broncoscopia flexible. Del mismo modo, los sujetos que vieron un video sin sonido de paisajes naturales tuvieron una mayor tolerancia al dolor y un umbral de dolor, en comparación con las personas que vieron una pantalla en blanco estática. Aunque no se realizó en un entorno de atención médica, Lohr y Pearson-Mims (Lohr y Pearson-Mims, 2000) encontraron que los

sujetos en habitaciones con plantas estaban dispuestos a experimentar una incomodidad física más prolongada (es decir, poner sus manos en agua helada) que cuando no había plantas en la habitación, aunque la habitación era igualmente interesante y colorida. Resultados similares han sido obtenidos por (Park et al. 2004) Los sujetos femeninos que observaban plantas con flores y follaje, o solo plantas con follaje, podían tolerar más tiempo sumergir sus manos en agua a 0 ° C, y reportaron intensidades de dolor más bajas, en comparación con los sujetos que no estaban expuestos a plantas. Además, la tolerancia al dolor fue más fuerte en el caso de exposición a plantas con flores.

Estos hallazgos pueden resultar muy útiles para entornos sanitarios. La admisión en un entorno de atención médica se puede experimentar como estresante para los pacientes, ya que relacionan estos espacios con la idea de una intervención médica, el dolor asociado, y el estar separado de la casa y los seres queridos por un cierto período de tiempo. Las intervenciones básicas, como la integración de la vegetación, parecen ser capaces de amortiguar estas y otras fuentes de estrés, y pueden hacer que las personas sean inmunes a que aparezcan en el futuro. Además, los hallazgos anteriores sugieren que la inclusión de estos elementos puede incluso conducir a un aumento significativo en la tolerancia al dolor, con el resultado de que las personas probablemente tendrán menos molestias físicas y se les administrarán menos analgésicos.

Stephen y Rachel Kaplan han propuesto una segunda interpretación de la restauración. En esencia, los investigadores sostienen que las experiencias

restaurativas implican la recuperación de la capacidad de “dirigir la atención” o “enfocarnos”. Esta capacidad se despliega durante tareas que requieren una concentración profunda, como la revisión o el estudio. La atención dirigida puede caracterizarse por diferentes cualidades: requiere esfuerzo; es esencial para lograr el enfoque; está bajo control voluntario; es susceptible a la fatiga; e inhibe actividades que podrían distraer la atención. Teniendo en cuenta que esta interpretación de la restauración es más limitada que la visión de Ulrich, que se aplica a un contexto más amplio que el de las capacidades de atención. En el marco psicoevolutivo, el estrés puede ocurrir incluso cuando la atención dirigida no está fatigada (Ulrich, 1993; Ulrich et al., 1991; Parsons, 1991).

Cuando la atención dirigida está fatigada, los entornos restauradores pueden recuperar esta capacidad al descansarla. Según Kaplan (1995), tales entornos tienen cuatro propiedades típicas. Primero, los ambientes restauradores provocan “fascinación”. La fascinación es fácil e involuntaria y, por lo tanto, permite que la atención voluntaria o dirigida descanse. Una segunda propiedad es “estar lejos” o liberarse de las fuentes que exigen la atención directa de uno. En tercer lugar, el entorno restaurador debe tener “extensión”, lo que significa que debe ser lo suficientemente rico y coherente para mantener a una persona interesada y fascinada, es decir, para mantener la mente ocupada. Cuarto, debe haber “compatibilidad” entre el ambiente restaurador y los propósitos e inclinaciones de uno. Lo que a uno le gustaría hacer y lo que está tratando de hacer debe estar en estrecha armonía con las características del entorno. Esto implica que no se debe prestar atención a si el comportamiento de uno es apropiado para el medio ambiente.

### 3.1.5.3. Fractales.

El término “fractal” fue utilizado por primera vez por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975. Mandelbrot lo basó en la palabra latina “*frāctus*” que significa “roto” o “fracturado”, y lo usó para extender el concepto de dimensiones fraccionarias teóricas a patrones geométricos en la naturaleza. (*Wikipedia*)

#### 3.1.5.3.1. Beneficios de la afinidad con los fractales.

Existen varias restricciones que guían el diseño para adaptarse a las sensibilidades humanas innatas (biológicamente intrínseca). Los fractales son un modelo para sistemas complejos que se manifiestan en la naturaleza.

**Macrocosmos y microcosmos:** Esta es una concepción de unidad y similitud al “todo”, con el universo existente, siendo parte de este ritmo cósmico. No viviendo como inquilinos en un planeta que consumimos hasta agotarlo. Las culturas alrededor del mundo siempre fueron conscientes de esta unidad, una visión completamente opuesta a la de ver al hombre como eje y centro del mundo; todo lo contrario, ser un organismo más dentro de este gran sistema universal.

La teoría fractal representa en gran medida este concepto de macrocosmos y microcosmos. Una de estas características definitorias de los fractales es que son de naturaleza auto similar. Auto similitud implica que las

partes constituyentes de la estructura son en sí mismas copias reducidas de la totalidad. Esta repetición auto similar la encontramos en las formas de la naturaleza.

De acuerdo con un estudio publicado en “*nature’s scientific report*”, el universo puede estar creciendo de la misma manera que un cerebro gigante. La energía que se genera en las interacciones de las células cerebrales es similar al sistema en el que se forman las galaxias. Después de un análisis simulado por ordenador, el resultado fue que el cerebro humano, el universo e internet crecen con la misma dinámica natural.

*“Proponemos que la organización del cerebro es también fractal no solo en la estructura, sino también en los procesos mentales. Así que lo que conceptualizamos por todo el cerebro en términos de estructura y funcionamiento, que también se puede inferir y conceptualizar lo mismo con respecto a los elementos que constituyen el cerebro.” (Goldberger, 1998)*

Dimitri Krioukov de la universidad de California en San Diego, afirmó que aunque tales sistemas parecen ser tan diferentes, han evolucionado de manera similar. El resultado dice, que el universo realmente crece como un cerebro. Por lo tanto se dice que la organización del cerebro es fractal, no solo en su estructura sino también en sus procesos mentales, lo que conceptualizamos en términos de estructura y mantenimiento. A su vez también se puede inferir y conceptualizar eso mismo con respecto a los

elementos que constituyen el cerebro. Es decir que debe haber una manera de mirar el cerebro que muestre que la neurona es como el neurón.

Desde la década de 1970, se ha demostrado que muchos de los patrones de la naturaleza son fractales (Mandelbrot, 1977). En contraste con la suavidad de las líneas artificiales, los fractales consisten en patrones que se repiten en escalas cada vez más finas, creando escalas invariantes a escala de inmensa complejidad.

Los seres humanos conectan mucho más tanto fisiológicamente como psicológicamente con estructuras que incorporan complejidad (de la naturaleza) que con los ambientes que representan un sistema plano o de complejidad desordenada. Esto quiere decir que el entorno construido realiza una función crucial como lo hace el medio ambiente natural.

Un objeto es fractal cuando tiene la propiedad de que la estructura de sus componentes refleja la estructura del conjunto en varias escalas. El ejemplo clásico sería un árbol, en donde una rama del árbol en posición vertical es como el árbol entero, incluso una hoja de un árbol tiene en sus venas, un árbol como la estructura de sus ramificaciones. Otra propiedad fractal es el “nesting” en el que los elementos más pequeños que componen todo el objeto y que reflejan la estructura de todo el objeto, están asimismo contenidos en ella. Estas copias más pequeñas que el todo, contienen copias más pequeñas, que se reflejan así mismas y al todo, y así sucesivamente hasta el “*ad infinitum*”.

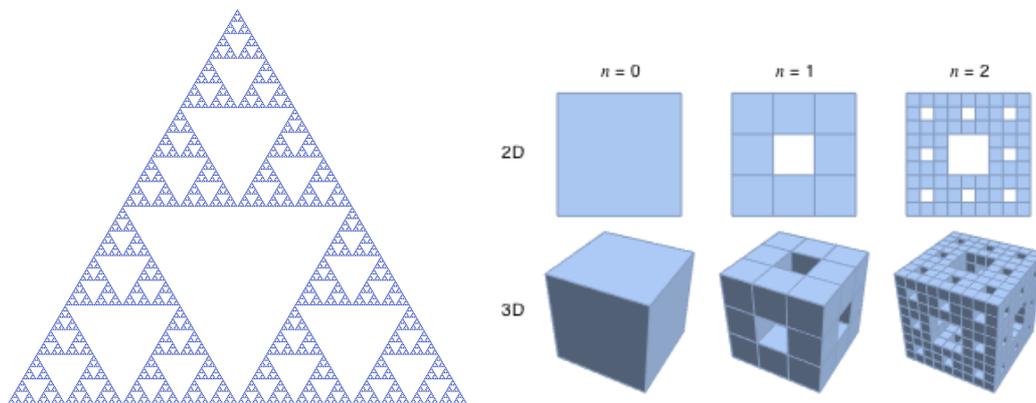


Fig. 10. La figura de la izquierda muestra un modelo del Sierpinski Gasket y la figura de la derecha muestra un ejemplo del Sierpinski Carpet.

Un gran ejemplo de fractales en arquitectura se puede ver en los templos de la arquitectura india. Y contextualizando el porqué de este interés en su aplicación en el diseño y la construcción, encuentro las palabras de Mircea Eliade apropiadas, ya que describen la verdadera esencia del artista y arquitecto en India:

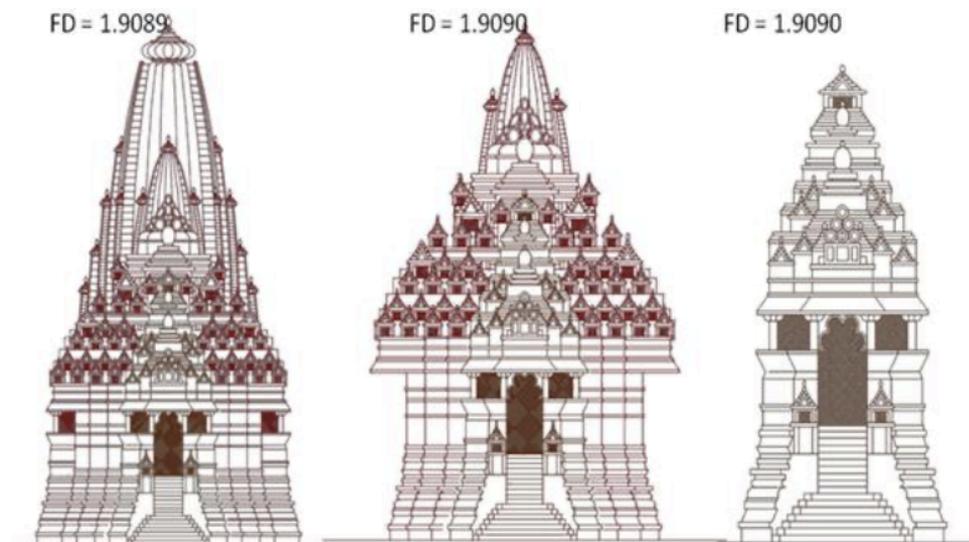
*“El artista indio nunca trató de copiar la naturaleza, porque siendo un filósofo en el sentido indio de la palabra, un hombre puro y armonioso, él es la naturaleza y; por lo tanto, podría crear en paralelo con la naturaleza, imitando solo el impulso orgánico, la sed de vida y crecimiento, el capricho de descubrir nuevas formas y nuevas delicias, sin imitar directamente las formas de la naturaleza, es decir, las formas ya logradas, y por lo tanto, en cierto sentido, muertas.*

*El artista indio imitó el gesto de la naturaleza y creó por su propia cuenta, utilizando sin embargo un espacio diferente y formas diferentes de las naturales. Los indios ofrecen un sentimiento, lleno de armonía con la naturaleza, de igualdad y amor por todas sus innumerables creaciones. Querer describir o sugerir aspectos de la*

*naturaleza es un signo de disociación de la naturaleza de la conciencia. Pero la India conserva aun esta integración con la naturaleza y la vive, no solo la observa, sino que la experimenta. El artista indio en su obra de creación coincide con la naturaleza, y sus obras no son más que nuevas formas de la misma naturaleza que crea; flores ricas y vivas, lagos, etc. Este arte expresa el continuo fluir orgánico, la circulación de los jugos vitales, un ritmo de formas y volúmenes desprovistos de esfuerzo y vacilaciones”.*  
(Eliade, 1985)

El templo hindú no es la morada de Dios sino la forma misma de Dios representada en la tierra y, dado que se sugirió estrictamente que era el microcosmos del cosmos, todos los templos hindúes tienen características básicas comunes junto con algunas características únicas.

El artista del templo indio, no conoce la perspectiva; visualiza una escena desde un punto de vista analítico y cualitativo. Siempre busca representar el objeto tal como es, intentando representar a su vez el contexto al que pertenece; no pretende simplemente hacer una copia o una imagen del objeto desde el espacio exterior. Aquí, la estética integra tanto la calidad, como el espíritu y la vida interior en el mismo gesto. Conocido como “*Shastriya kala*” o arte clásico. No crea obras de arte, sino modelos espirituales, imágenes para ser interiorizadas a través de la meditación. Su acción sobre el hombre no conduce al sentimiento estético, sino a un sentimiento de reconciliación y perfección, el punto de partida de un ascenso espiritual que trasciende con creces el arte profano.



*Fig. 11. Dimensión Fractal en Matlab tomada de las fachadas del templo de Kandariya Mahadev. (Tanisha Dutta, 2018)*

La dimensión fractal es la cantidad que mide el carácter fractal de un objeto. Para cualquier objeto fractal, la dimensión fractal siempre es una dimensión no entera, los objetos de dimensión entera son por ejemplo: punto de dimensión cero, línea unidimensional, cuadrado bidimensional y cubo tridimensional. El objeto fractal es una dimensión fraccional que puede estar en entre un objeto unidimensional y bidimensional, o entre un objeto bidimensional y tridimensional. Porque entre el objeto fractal unidimensional y bidimensional, la dimensión fractal “D” siempre es mayor que 1 y menor que 2, mientras que para el objeto fractal entre dos y tridimensional la dimensión fractal “D” es siempre mayor que 2 y menos de 3.

Existen varios métodos para evaluar la dimensión fractal, entre los cuales el “método de conteo de cajas” es adecuado para medir la dimensión fractal de altura de edificios, montañas, árboles o cualquier objeto que no sea

verdaderamente fractal. Aunque, el “método de medida de autosimilitud” es muy común para calcular la dimensión fractal, pero este método es solo aplicable a fractales matemáticos, donde se encuentran estructuras autosimilares en todas las escalas de “Zoom”. La dimensión fractal calculada por el “método de conteo de cajas” mide la dimensión fractal de una imagen en función de la rugosidad o la calidad de la textura o la cantidad de detalles.

En el ejemplo del templo de Kandariya Mahadev, se puede ver como en las tres fachadas, la forma general se repite en diferentes escalas y detalles. Cabe aclarar que los templos indios no son solo un único edificio, sino un conjunto de edificios en el que hay una serie de pequeños templos asociados a otras deidades que acompañan a la deidad principal.

El artista de antaño tenía muy presente la sacralidad de su vida, lo que le movía era lograr manifestar las reglas universales que estaban claramente representadas por lo divino. Y es esta la gran diferencia entre la arquitectura contemporánea y la arquitectura histórica; hoy en día hay una completa desconexión con lo divino y superior. El hombre pasó a ser el centro del universo, No hay sacralidad en la arquitectura contemporánea. No hay la idea de ser partes de un todo, que hay algo superior y mucho más grande que nosotros que controla el tiempo, las estaciones, los ritmos de la naturaleza y que nosotros somos solo una pieza más de este bello panorama.

Es una visión completamente diferente a la de hoy en día, en que el culto se rinde a la individualidad. Esto se ve reflejado en la arquitectura actual,

hemos pasado de vivir en comunidades a vivir en pequeños cubículos, que nos aíslan cada vez más del resto de la sociedad, del resto del ecosistema al cual pertenecemos, como una especie más que forma parte de este ritmo natural.

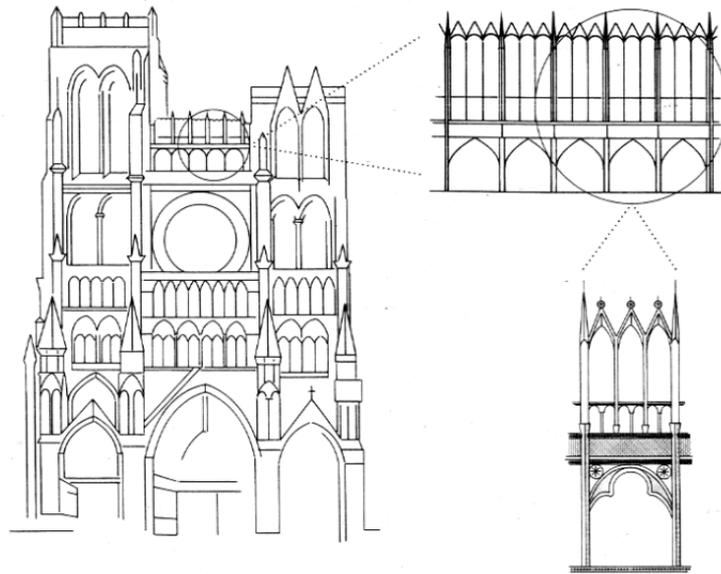
La naturaleza del ser humano es parte de esta gran unidad, y es precisamente esto lo que nos ha alejado de lo real. El ser humano contemporáneo vive aislado y desconectado del mundo natural; como dice D.H. Lawrence, nos han quitado el sol y la luna. Nos han quitado esas raíces, con lo que somos, y es esto lo que buscamos todos, volver a conectar con estas raíces. Volver a integrarnos en este todo.

El artista de antaño, rendía culto a todo este sistema natural, muy alejado de ser una acción egoica que buscaba reconocimiento y aceptación. Simplemente un reconocimiento de lo que siempre ha existido.

En occidente podemos ver un claro ejemplo en la arquitectura, la cual tiene una larga carga estética de elementos fractales, también se ha conjeturado que son una externalización de los patrones fractales de la organización neuronal de nuestro cerebro (Goldberger, 1996).

*“...Estos fractales capturan varias características claves de la arquitectura gótica: su porosidad “holeyness” o apariencia tallada, arrugada, y su auto-similitud general. Esta última es una característica definitoria del fractal, que representa objetos compuestos de unidades más pequeñas que se parecen mucho a la estructura a mayor escala. La naturaleza fractal de la catedral gótica puede apreciarse viéndola*

tanto desde afuera como desde adentro a aumentos progresivamente mayores (Fig. 4). Desde la distancia, las agujas afiladas son la característica dominante. Una visión más cercana revela que estas agujas no son lisas, sino que tienen crecimientos espinosos. Sin embargo, una inspección más cercana revela incluso detalles puntiagudos superpuestos en estos adornos. La repetición de diferentes formas de alerces (ventanas, agujas) en diferentes escalas, produce una combinación de complejidad y orden. El curvado. La naturaleza de los edificios, cuando está apoyada por arbotantes, les da una apariencia notablemente esquelética y explica su luminosidad”



**Figure 4** Schematic drawing to illustrate fractal appearance of Gothic cathedrals which show self-similar (but not identical) features on multiple scales of magnification. (Drawings by A Brass.)

Fig. 12. En la figura podemos ver el ejemplo de autosimilitud de las formas y de repetición a diferentes escalas que veíamos en la arquitectura India.

### 3.1.5.3.3. Reducción del estrés a través de los fractales.

Richard Taylor (Taylor, 2006) en su artículo sobre la reducción del estrés a través del arte y la arquitectura, menciona como durante sus años de escuela hubo una frase que nunca pudo olvidar, la pintura los “Lirios de agua” de Monet calman al observador, mientras que los “Girasoles” de Van Gogh electrifican. No puede ser más clara esta frase para poder explicar lo que deseamos tratar en esta tesis. El uso inarmónico de las formas arquitectónicas, afecta ya sea positiva o negativamente a sus habitantes.



*Fig. 13. Lirios de agua de Monet.*



*Fig. 14. Girasoles de Vincent Van Gogh.*

Podemos traer este ejemplo a la arquitectura, sabemos que hay espacios en los que nos sentimos expandidos, seguros, tranquilos, espacios que nos maravillan y que los disfrutamos y que por el contrario hay espacios que nos ocasionan el efecto contrario y de los cuales queremos huir, ya que generan en nosotros estados de alerta, ansiedad, desconexión etc.

Taylor utilizó los resultados de un experimento llevado a cabo por la NASA (La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio), en el que James Watt estudió las mediciones de conducción a través de la piel, para medir las respuestas fisiológicas de las personas cuando observaban imágenes naturales. El análisis fractal de estas imágenes demostró de que ciertas formas de patrones fractales podrían usarse para reducir el estrés fisiológico.

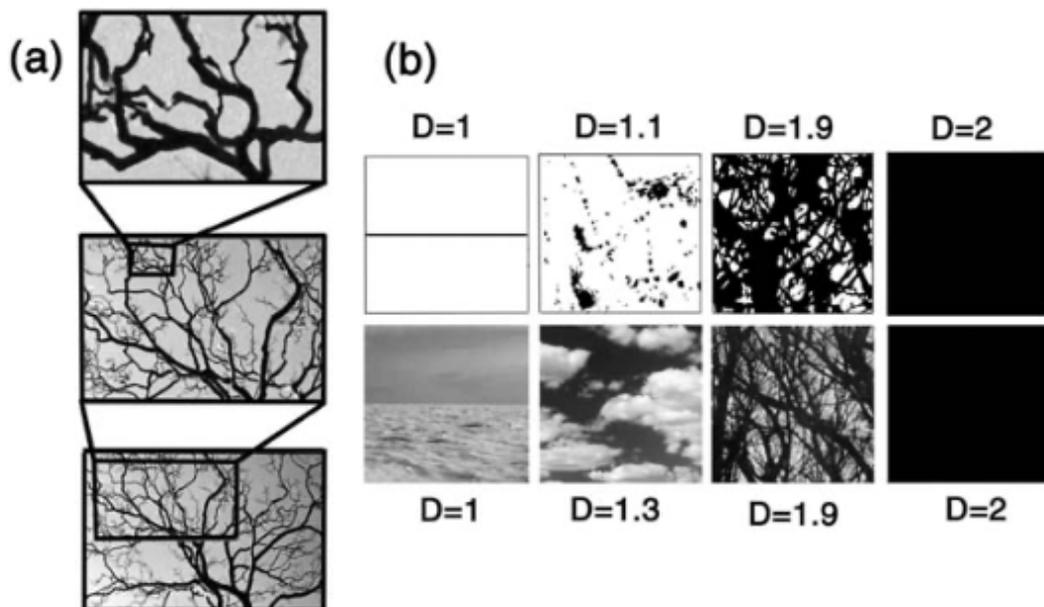


Fig. 15. La figura 15a muestra el Patrón fractal en las ramas de un árbol, fotos tomadas a diferentes escalas para comprobar la autosimilitud. Y la figura 15b muestra la manera de medir la dimensión fractal. En el caso del árbol, su medida fractal sería alrededor de  $D=1,9$  de Taylor, 2006.

Durante el experimento se usaron tres imágenes: una fotografía de un paisaje natural, la segunda era una pintura del paisaje de una sabana y la tercera una serie de patrones abstractos, compuestos de solo líneas horizontales. Además de las imágenes que estaban colgadas en una pared enfrente de los participantes, se les pedía realizar una serie de tareas de cálculo matemático, resolución de problemas de lógica y realizar ejercicios de pensamiento creativo.

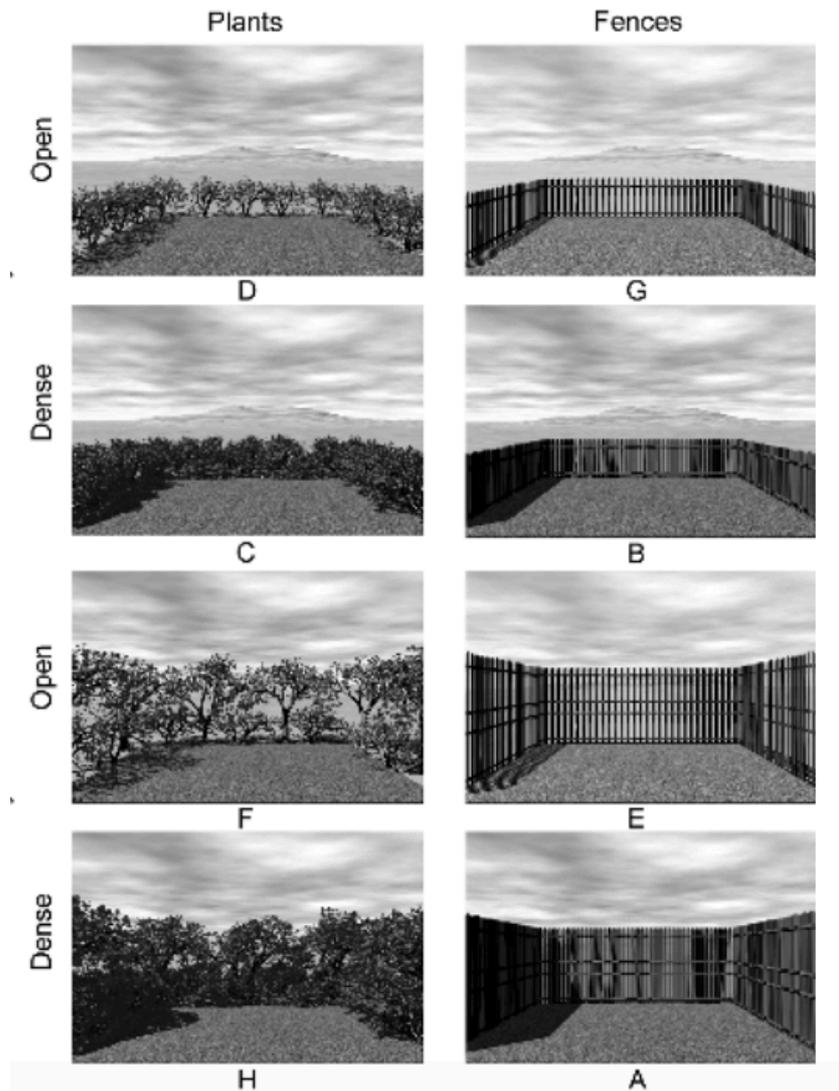
Los resultados mostraron como los individuos al hacer las tareas indicadas y al ver la foto del paisaje natural el nivel de estrés era muy bajo y podían recuperarse más rápido para pasar a la siguiente tarea. Mientras que con las otras imágenes sobre todo la del dibujo abstracto el tiempo de recuperación era muy bajo.

Benoît Mandelbrot enfatizó que la complejidad y la irregularidad intrínseca en los patrones de la naturaleza no pueden modelarse con geometría euclidiana. En la naturaleza encontramos muchos elementos que demuestran este patrón fractal, el cual consiste en la repetición sea infinitesimal o maximizada de un mismo patrón (véase, por ejemplo, el triángulo de Sierpinski en la figura 10). Las características visuales de los patrones fractales requieren el uso de enfoques descriptivos que son radicalmente diferentes de los de la geometría euclidiana. La dimensión fractal  $D$  es un parámetro central y cuantifica la relación de escala fractal entre los patrones observados a diferentes aumentos. Para las formas euclidianas, la dimensión es un concepto familiar descrito por valores enteros: una línea

suave tiene un valor  $D$  de 1, mientras que un área completamente llena tiene un valor de 2. Para los patrones repetitivos de una línea fractal,  $D$  se encuentra entre 1 y 2. La figura 15b muestra cómo el valor  $D$  de un fractal afecta en su apariencia.

Otro aspecto importante arrojado por Taylor tiene que ver con los contornos, y como en el urbanismo puede influenciar la fachada que se diseñe para una ciudad. Los bordes de los contornos juegan un papel dominante en la definición de la percepción de los fractales. La importancia de los contornos está respaldada por experimentos de “seguimiento ocular” que monitorean la dirección de la mirada. Estos experimentos muestran que el ojo se fija predominantemente en los bordes al examinar una escena.

Por lo tanto, un enfoque prometedor para investigar una escena fractal es seleccionar un borde prominente y determinar su impacto estético. El horizonte forma el contorno dominante en muchas escenas, y el valor  $D$  depende de los objetos que definen el contorno.



*Fig.16. Arthur Stamps. "Visual Permeability; Locomotive Permeability, Safety, and Enclosure"*

En la figura anterior podemos ver como el contorno de los árboles tiene una característica fractal, y es mucho más relajante a la vista, en comparación con la valla de madera que forma una línea paralela al horizonte, incluso siendo una valla de un material natural como lo es la madera, el impacto en el comportamiento humano se ve reflejado en el aumento de estrés.

La reducción de estrés es de enorme beneficio para la sociedad, y este enfoque novedoso del uso de fractales podría resultar particularmente útil

para entornos terapéuticos como hospitales o situaciones en las que las personas se ven privadas de los fractales de la naturaleza, por ejemplo, los espacios sin ventanas, salas, despachos de oficinas en los que se divide el área de trabajo a través de cubículos, estaciones de investigación en la Antártida y en el espacio ultraterrestre. La motivación de la NASA para llevar a cabo los experimentos fue explorar métodos para mantener bajos los niveles de estrés en los astronautas, un objetivo que se ha convertido en un tema de actualidad con los recientes llamamientos para misiones tripuladas a Marte, pero al mismo tiempo arroja mucha luz al efecto de las formas en espacios arquitectónicos y de cómo poder mejorar su calidad.

Los desafíos de incorporar fractales en los interiores y exteriores de los edificios requerirán una interacción entre las consideraciones científicas, artísticas y sociales. En particular, la manera en que las personas están expuestas a los patrones debe ser discreta.

Un mundo en el que estamos obligados a mirar imágenes fractales durante un período diario asignado, evoca visiones poco atractivas. Afortunadamente, los experimentos descritos aquí indican que las respuestas pueden ser inducidas sin una exposición prolongada a estos. Los estudios de percepción mostraron que los períodos de observación de menos de 10 segundos fueron suficientes para provocar un atractivo estético. Además, a los participantes en los experimentos de la NASA no se les ordenó mirar directamente a los fractales, que estaban ubicados en una pared lejana. Esto sugiere que los fractales podrían incorporarse al entorno. Una mirada rápida a

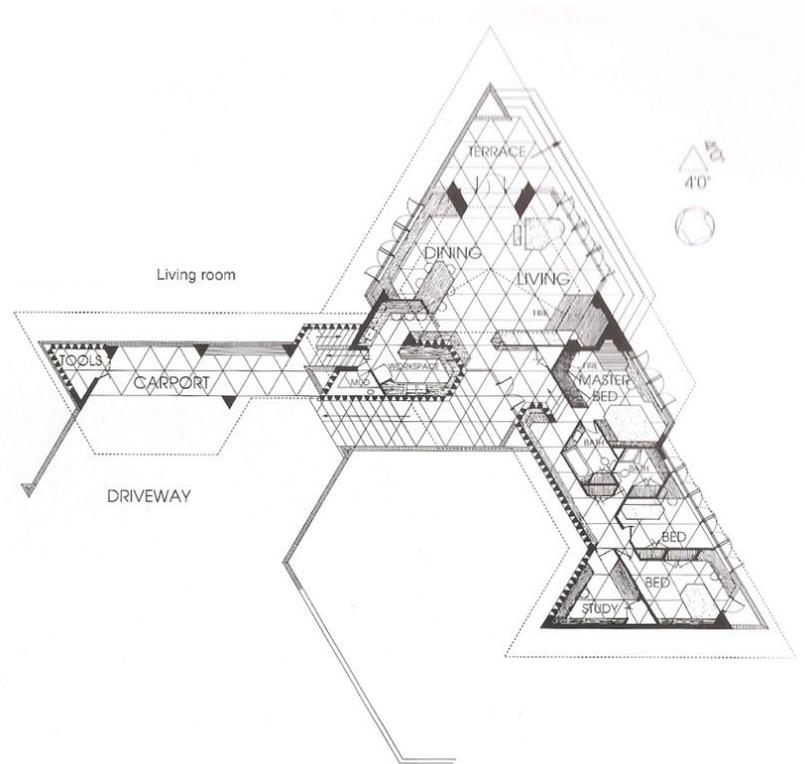
una pintura en la pared de un corredor podría ser suficiente para inducir el efecto deseado. Además, la investigación sobre la dinámica fractal de la música indica que con esta sutil exposición visual podrían también integrarse con los fractales sónicos.

### **Implicaciones para el arte y la arquitectura fractal contemporánea.**

¿Es práctico crear edificios con una apariencia fractal? Una aproximación podría ser diseñar un edificio basado en la geometría fractal. Primero debemos partir de la premisa de que la analogía fractal pueda desarrollarse de manera tridimensional, ya que es la mejor forma en la que podamos experimentar sus formas y beneficios. Digo esto porque a lo largo de la historia de la arquitectura hemos encontrado ejemplos de esta analogía bastante claros pero usados en dos dimensiones lo cual limita la experiencia fractal del espacio.

Un ejemplo claro lo podemos ver en la Palmer House de Frank Lloyd Wright, en el que podemos ver como la forma del triángulo se desarrolla en la planta a diferentes escalas, siguiendo la analogía del triángulo de Sierpinski.

¿Pero cómo se podría llevar a cabo arquitectura de carácter fractal en tres dimensiones y que resulte habitable? Una idea podría ser la de usar una forma euclidiana para la estructura básica del edificio e incorporar los fractales en el diseño, usando por ejemplo, pintura, iluminación o estructuras adjuntas.



*Fig. 17. Palmer House de Frank Lloyd Wright. Se puede ver en la imagen la forma del triángulo utilizada para crear los espacios en diversas escalas, tal vez imitando al triángulo de Sierpinski.*

Independientemente del enfoque, el gran reto, reside en la capacidad de repetir el proceso de diseño a diferentes escalas. Sin embargo, este desafío puede no ser tan difícil como parece, ya que el diseño puede estar limitado por el rango de magnificación, el cual se recomienda no exceda el 25%. (Taylor, 2006)

Sin embargo, estos grandes rangos de observación son inusuales para fractales físicos, por lo general, el patrón más pequeño es solo 25 veces más pequeño que el más grande. Motivados por este hecho, las imágenes utilizadas en los experimentos de percepción se mostraron de tal manera que el patrón

resoluble más pequeño era aproximadamente 25 veces más pequeño que el más grande. Este rango de aumento limitado fue suficiente para inducir las preferencias de dimensión fractal. Por lo tanto, la arquitectura fractal puede limitarse efectivamente a patrones que abarcan un rango de aumento de 25.



*Fig. 18. Sydney Opera House. La repetición de una misma forma a diferentes escalas, nos da la idea de la analogía fractal.*

Finalmente, quizás la consideración práctica más importante a investigar se refiere al grado en que las formas pueden desviarse del comportamiento fractal y aún inducir la respuesta deseada. Por ejemplo, aunque la Ópera de Sydney, que se muestra en la Figura 18, no es estrictamente fractal, el patrón creado por formas simples en varios tamaños podría ser suficiente para imitar fractales e inducir la respuesta fisiológica deseada. Si futuras investigaciones demuestran que este es el caso, esta relajación de las condiciones prácticas hace que la arquitectura fractal se

convierta en una propuesta muy realista. Otro ejemplo lo podemos ver en el parlamento de Escocia de Enric Miralles.



Fotografía: Montse Bigas



Fotografía: Montse Bigas

*Fig. 19. Figura de aplacados que se repite a diferentes escalas, siguiendo la idea de la autosimilitud en los fractales. Parlamento de Escocía EMBT, 2004. Imágenes tomadas por Montserrat Bigas.*

### 3.1.5.4. Escala

**Escala universal:** Nikos A. Salingaros ha estudiado muchos edificios de todos los continentes y épocas, y su conclusión es que existe una escala universal o una jerarquía fractal.

*“Estoy presentando un desafío al afirmar que la gran mayoría de los edificios de todo el mundo antes de la era industrial obedecen a la escala universal (y en realidad continúan hasta los primeros años industriales). Esto es válido para todas las diferentes culturas, todos los diferentes períodos, y tampoco está restringido a unos edificios cuidadosamente seleccionados a los que podría referirme aquí. Este reclamo puede documentarse mediante mediciones en el sitio, y luego el término “universal” se hace evidente, ya que se aplica a las arquitecturas indígenas, tanto vernáculas como monumentales. Por lo tanto, la escala universal es innata a la forma en que los seres humanos crean las formas, y no es una característica vinculada a ninguna cultura”. - (11)*

Para aplicar la escala universal a lo que hacemos, Salingaros nos da varias herramientas, algunas muy precisas pero que requieren más tiempo de cálculo, y otras más aproximadas pero más rápidas. Todas salen con un porcentaje de alrededor 2.618, y están relacionadas con la media dorada. La coherencia de escala es esencial, porque todos los entornos naturales obedecen a esta ley, y si la contradecemos, de alguna manera nos contradecemos a nosotros mismos. Es esencial prestar especial atención a la escala humana, que va desde dos metros hasta dos milímetros.

**Pequeña escala:** Los sistemas de construcción a pequeña escala deben invertirse, para optimizar la carga informativa. Hoy en día, los postes y vigas de madera se construyen dentro de las paredes y se cubren con placas de yeso industrial. Este tipo de construcción oculta los materiales con el mayor contenido informativo, presentando en cambio una geometría abstracta a la que no podemos conectarnos. Los arquitectos innovadores pueden y deben desarrollar nuevos sistemas estructurales, que preserven los materiales naturales para las superficies visibles, para ser utilizados en regiones a las que los seres humanos pueden acceder directamente a través del sentido o el tacto. Dicho esto, sin embargo, también se debe tener cuidado en cómo se colocan esos materiales dentro de la estructura. El usar piedras y ladrillos en bruto para interiores, aunque en cierto nivel proporcionan una experiencia informativa más intensa, su superficie es hostil al tacto, por lo que deben ubicarse fuera del alcance inmediato.

**Gran escala:** La construcción a gran escala requiere diferentes técnicas. Podemos aprender mucho de la producción modular de paneles ornamentales y componentes de construcción que surgieron en el siglo XIX. De la misma manera, los patrones de mosaicos islámicos, los módulos industriales como los utilizados por Hector Guimard, Louis Sullivan y Frank Lloyd Wright representan una extensión efectiva de los tipos patrones que nos resultan neurológicamente atractivos. Aunque no se ha utilizado durante muchas décadas, esta forma de expresión arquitectónica contiene un alto grado de información codificada y, por lo tanto, es muy útil para establecer el bienestar humano. Algunos de los edificios más antiguos que más admiramos como

“hechos a mano” son, de hecho, productos de un proceso de construcción modular. Con la tecnología avanzada de hoy, este método en manos de un arquitecto que entiende la complejidad organizada puede proporcionar numerosas posibilidades:

*“El trabajo al que se refiere es el proyecto del nuevo acceso a la Estación de Takaoka (1991-1993) manifestando claramente que el juego de escalas dimensionales establece relaciones con el entorno y es capaz de transformar el lugar, de “redimensionarlo”. La escala es así mismo una estrategia fundamental para “confundir” e integrar la nueva construcción en el área de intervención, no mimetizando formalmente el entorno inmediato sino generando una suerte de incorporación “infinita” que potencie el constante desarrollo y crecimiento.*

*Desde el inicio del proceso proyectual del Parlamento de Escocia, Miralles y Tagliabue defendieron la idea de diseñar un conjunto edilicio integrado en el lugar, enlazando la naturaleza y la ciudad e incorporando la dimensión humana, un complejo alejado de la escala monumental considerada una de las constantes tipológicas de las instituciones parlamentarias. En la memoria presentada al concurso, los arquitectos manifestaron sus intenciones de no imponer la construcción a través de una cámara de debates principal dotada de una gran cúpula central o de disponer los edificios sobre grandes peanas, podios o escalinatas de tipo neoclásico. En su mente existía un Parlamento más sencillo que dialogara con el entorno urbano, con el paisaje y con su gente expresando su deseo (a través de unos bocetos conceptuales y unos textos que identificaban la sede del poder legislativo con la tierra de Escocia y con sus ciudadanos) de que la construcción arquitectónica reflejase el acto de reunión y el encuentro entre la política y el pueblo. El Parlamento parece realmente nacer de la montaña de Salisbury Crags acurrucándose al final de la Royal Mile así como emerger de la misma tierra, tal como manifestaron en sus intenciones incipientes, exhibiendo una construcción semejante a un anfiteatro (el jardín público) que enlazará el complejo edificado con el paisaje. La forma de reunión se repetirá a una escala menor en la cámara de debates y en las diferentes salas de reunión, así como en los numerosos rincones informales recreados.*

*Tagliabue también destaca el carácter familiar y hogareño que querían promover en el complejo parlamentario, diseñar literalmente una “casa” del parlamento rescatando sus orígenes y el significado esencial de ella. Una intención semejante a la del proyecto de rehabilitación del Ayuntamiento de Utrecht:*

*“Detrás de las cuatro columnas simétricas de la fachada, la planta gótica no corresponde a la simetría y a los intercolumnios que fueron una torpe tentativa de ennoblecer el edificio que solamente era la casa de la ciudad (...). Nuestro proyecto devuelve ‘la casa de la ciudad’ a su origen: una serie de casas góticas endosadas, conservadas durante los siglos en sus transformaciones con parsimonia y elegancia muy holandesa.” (12.)*

### 3.1.5.5. La influencia de la luz en la salud y la función humanas

Una larga historia de investigación, que data de textos e informes antiguos de principios del siglo XVII, revela que la exposición a la luz tiene un impacto significativo en los seres humanos. Avances en la investigación del reloj neuronal del cerebro, ubicado en el núcleo supra-quiasmático y sistema pineal y endocrino asociado, revelan múltiples sistemas oscilatorios que modulan las respuestas humanas a los patrones de luz cambiantes.

El ciclo solar de luz y oscuridad durante aproximadamente 24 horas es el estímulo principal que sincroniza los ritmos biológicos y conductuales en respuesta a las variaciones diarias (circadianas) y estacionales (circanuales) de la luz. Por ejemplo, las fluctuaciones diurnas y nocturnas de la melatonina modulan el sueño y la vigilia, mientras que los niveles elevados de cortisol en la mañana preparan al cuerpo para la actividad, y los niveles más bajos de cortisol en la noche fomentan la relajación. Los descubrimientos recientes de células ganglionares fotorreceptivas especiales en la retina revelan cómo la luz que cambia lentamente regula un sistema complejo de respuestas de hormonas neurales para sincronizar las respuestas psicofisiológicas con la hora del día.

Estudios recientes indican que los conos, que anteriormente se pensaba que funcionaban únicamente como receptores de la visión, también desempeñan un papel en la obtención de tales respuestas no visuales, en ciertas condiciones.

Para completar este apartado cito a continuación un fragmento de una entrevista realizada por la revista *Perspecta* a Louis Kahn en la que el arquitecto expone la importancia de la luz natural en un proyecto arquitectónico:

*“Perspecta: ¿Y por lo que respecta a la luz?”*

*Kahn: Todos los espacios necesitan luz natural. Si quiere puedo escribirsele.*

*Perspecta: ¿Para una casa o para un período?”*

*Kahn: Yo diría que todos los espacios necesitan luz natural... todos los espacios dignos de este nombre necesitan luz natural. La luz artificial es sólo un pequeño, singular episodio de iluminación... y la luz natural es la luna llena, y hay una gran diferencia.*

*Perspecta: Así pues, no es una tautología... decir que usted define un espacio como una cosa dotada de luz natural.*

*Kahn: Claro. En realidad, no puedo definir un espacio como un espacio si no dispone de luz natural. Y esto porque las tonalidades creadas por la hora del día y de la estación del año no hacen más que ayudarnos a evocar lo que un espacio puede ser si no la posee. Y con la luz artificial –ya sea en una galería o incluso en un auditorio- se pierde. Alguna vez me gustaría construir un teatro con iluminación natural... que luego se oscurecería durante la función. Pero, ¿por qué los ensayos hay que hacerlos en una tétrica oscuridad? ¿Los ensayos son un espectáculo? No; la comedia es la comedia, y el público ve la comedia, no los ensayos. Durante los ensayos el teatro debería ser lo más agradable posible, en una atmósfera de distinto tipo. No estoy del todo convencido de que un teatro siempre deba estar iluminado artificialmente, a menos que los ensayos se desarrollen en otra parte. En ausencia del público, probablemente se produce algo que es completamente artificial - ¿comprende?- en el sentido de que se crea el mismo espacio pero en presencia de luz natural. Yo creo que*

*debe haber una iluminación natural en los espacios dignos de ese nombre. Y – cosa bastante interesante- creo que un espacio se concibe casi con la conciencia de las posibilidades de iluminación, porque, ante una columna - ¿comprende?- se dice que hay una columna en cuanto que la luz es posible. Frente a un muro no es posible... pero cuando tenemos una columna o una bóveda o un arco, es como decir que la luz es posible. En consecuencia, la manera de hacer un espacio implica ya que en él penetre la luz... y precisamente la elección del elemento estructural debería ser también la elección del tipo de luz que se desea... y que yo creo que verdaderamente es una exigencia arquitectónica.*

*Perspecta: Si estuviera tan oscuro que no se pudiera ver la estancia, ésta ya no sería un espacio. Como el interior de un frigorífico con la luz apagada.*

*Kahn: No es un espacio...*

*Perspecta: Cuando se abre la puerta y se enciende la luz, entonces se convierte en un espacio... si se trata de luz natural.*

*Kahn: Si se trata de luz natural... Algunas cámaras oscuras usadas en los laboratorios... siempre te dicen... el profesor te dirá siempre: “Bien, sólo hay un espacio donde no hace falta una luz exterior”... No, no quería decir una cámara oscura... me refiero a una celda frigorífica donde se hacen experimentos. Pero, en general, se descubre que quien está encargado de hacer los experimentos dice que algún estudiante, que trabaja con él, está sufriendo... porque debe renunciar a la luz. No es capaz de decir si afuera hay un pájaro, si llueve o si nieva. Cuando he tenido ocasión de charlar con los servidores, en seguida me daba cuenta de que eran muy infelices sin una ventana, sin poder ver nada afuera.” (13)*

Esta última frase de Kahn resume perfectamente la importancia de la luz en la concepción del espacio: “...Pero, en general, se descubre que quien está encargado de hacer los experimentos dice que algún estudiante, que trabaja con él, está sufriendo... porque debe renunciar a la luz. No es capaz de decir si afuera hay un pájaro, si llueve o si nieva. Cuando he tenido ocasión de charlar con los servidores, en

*seguida me daba cuenta de que eran muy infelices sin una ventana, sin poder ver nada afuera...”*

No podría agregarle más a esta frase, hemos dedicado un capítulo (capítulo 3.1.3.1) a exponer aspectos neurológicos en el comportamiento humano. Cada elemento de la naturaleza es un reflejo de nosotros mismos, los sistemas orgánicos que rigen las formas naturales de la misma forma nos rigen a nosotros.

La luz representa la vida, igual que el aire, el agua. El sol es nuestro motor, es como el fuego que nos impulsa a actuar. No es de extrañarnos como las tasas de suicidios y depresión son más altas en países Nórdicos; en donde la luz natural es más escasa, y en algunos simplemente esta ausente durante largos periodos.

### **3.1.5.6. Tecnología que apoya la investigación de los efectos del espacio en el comportamiento humano:**

Una instalación única, el Entorno Virtual Automático de la Cueva (CAVE), en el Instituto de Telecomunicaciones y Tecnología de la Información de California (Calit2) en la Universidad de California, San Diego, ofrece un entorno controlado en el que las medidas fisiológicas y de comportamiento de los sujetos o pacientes; se sincronizan siendo grabados mientras están inmersos en simulaciones de realidad virtual de escenarios de construcción.

StarCAVE es una sala de realidad virtual de cinco lados creada por 15 pantallas de retroproyección que encierran a múltiples espectadores en un espacio de 3 metros de diámetro por 3,5 metros de altura. Los proyectores crean estéreo 3-D, resolución de visión 20/40 de más de 68 millones de píxeles, 34 millones por ojo, distribuidos en las paredes y el piso. El espectador interactúa con las imágenes virtuales utilizando un joystick tridimensional y un sistema de sensor infrarrojo de seguimiento de cabeza que registra la ubicación y orientación del sujeto en el espacio, y mueve los campos visuales tridimensionales según su punto de vista. Las ubicaciones de la cabeza y el joystick del espectador se registran con el tiempo, rastreando dinámicamente su perspectiva, posición e interacciones en primera persona con la configuración virtual.

Se ha desarrollado un novedoso software de diseño asistido por computadora (CAVECAD) que tiene la capacidad de alterar dinámicamente el entorno de realidad virtual (RV) mientras los sujetos permanecen dentro del

modelo RV. Este enfoque elimina el paso tradicional de crear un modelo 3-D en una computadora de escritorio, antes de llevarlo a un entorno virtual, lo que permite tiempos de respuesta mucho más cortos cuando se realizan cambios en el modelo. Por lo tanto, se pueden probar varios conceptos de diseño y casos de uso al registrar las respuestas de los sujetos a cambios específicos en paradigmas experimentales controlados, y sin necesidad de construir o cambiar maquetas antes de continuar con las pruebas. Además, el software *Collaborative-CAVE* permite proyectar el mismo modelo virtual en muchos entornos CAVE distribuidos en diferentes ubicaciones globales, con los participantes en cada sitio capaces de controlar su propio movimiento a través del modelo, mientras que las ventanas de los otros equipos se mueven en sincronía. Expertos, médicos y clientes están colaborando para utilizar este laboratorio de diseño de realidad virtual para evaluar el uso operativo y las funciones programáticas dentro de los modelos de realidad virtual.

Para medir las respuestas neurológicas y psicofisiológicas y conductuales asociadas al diseño, las capacidades inmersivas e interactivas de la realidad virtual, se aumenta con el monitoreo simultáneo de las respuestas del sujeto para permitir que una nueva clase de experimentos controlados pruebe el diseño antes de colocar el primer ladrillo. Estos avances contribuyen a la movilidad y la simplicidad de registrar objetivamente la experiencia del sujeto junto con la actividad cerebral y ocular continua en maquetas de realidad virtual 3D y, a su debido tiempo, en entornos arquitectónicos reales. Los datos de banda ancha que emanan del cerebro y el cuerpo se registran utilizando un dispositivo de detección y registro biopotencial sin contacto

personalizado recientemente desarrollado y probado que puede detectar y recolectar ondas cerebrales electroencefalográficas (EEG), además de detectar actividades eléctricas que miden el movimiento del ojo (electro-oculografía EOG), potencial cardiovascular (electrocardiografía - ECG) y muscular (electro-miografía - EMG). Los sensores discretos captan los potenciales eléctricos del cuerpo sin contacto conductivo con la piel y se pueden montar sobre el cabello o sobre la ropa sin gel u otra preparación para la piel. Otras versiones del sensor utilizan sensores de contacto seco, así como tela conductora para integrar la detección en la ropa que usa el usuario. El sistema EEG / EOG interactúa directamente con la plataforma informática StarCAVE y transmite formas de onda digitalizadas a través de un enlace de comunicación Bluetooth que se sincroniza con los datos de CAVE, rastreando la ubicación, la posición de la cabeza y el tiempo de reacción del espectador mientras se mueve dentro del modelo 3D. Un “bio-cursor” en tiempo real utiliza EOG sincronizado con el seguimiento de la cabeza de realidad virtual para revelar la atención a elementos específicos en el entorno virtual, detectando la mirada y los micro-movimientos en tres dimensiones.

Estos avances tecnológicos y la evidencia que pueden revelar prometen los medios para validar los datos que pueden informar y ampliar las pautas sostenibles que sirven a la salud humana y ambiental.

## CONCLUSIÓN.

### **Sobre la correcta interpretación.**

*“Parece necesario que revisemos nuestras ideas sobre la noción de verdad dada esa multiplicidad de teorías irreconciliadas y a veces irreconciliables, y dada también la existencia de distintas descripciones que pueden todas aceptarse como alternativas admisibles. Efectivamente, dada la idea de la construcción de mundos que hemos desarrollado, idea que se extiende mucho más allá de los límites de teorías y descripciones, que va más allá de los enunciados, del lenguaje y de la denotación misma, y que llega a abarcar versiones y concepciones tanto metafóricas como literales, tanto pictóricas y musicales como verbales, que incluye tanto la ejemplificación y la expresión como la descripción y la representación, parece quedársenos corta la diferenciación de lo verdadero y de lo falso cuando formulamos la distinción más general entre versiones válidas o correctas y versiones erradas.”*

*Maneras de hacer mundos, Nelson Goodman*

Cito esta frase de Nelson Goodman porque veo que reúne en ella toda la problemática que encuentro en el proyectar arquitectónico digital de hoy en día; de alguna manera resume también la finalidad de la tesis, que es básicamente dar evidencia de cómo los elementos de la metáfora o la analogía, la creación de mundos y la correcta interpretación son elementos de vital relevancia a la hora de diseñar espacios habitables, y cómo los arquitectos deberíamos replanteárnoslos a la hora de proyectar espacios armoniosos.

La primera parte de la tesis trata del tema de la analogía, sentando las bases y recordándonos que este aspecto de la naturaleza y de los elementos orgánicos, ha inspirado a arquitectos, artistas, pensadores, científicos y al hombre en general a lo largo de la historia, tal vez por ser su propia naturaleza la que se ve reflejada en estas geometrías, tal vez por reconocer cómo esta inteligencia natural reflejada a través de sistemas orgánicos perfectamente sincronizados, ha funcionado desde siempre sin ningún conflicto, siendo este hecho una motivación y ejemplo a seguir, imitar y simular.

La segunda parte de la tesis toca el tema de la creación de mundos. Basándonos en esta analogía, los arquitectos de manera evolutiva también se han ido adaptando en algunos casos ingenuamente y en otros entendiendo los procesos orgánicos a nivel científico, pero siempre con la intención de plasmarlo en los proyectos que no son otra cosa que manifestaciones de nuevos mundos.

A cada avance de la ciencia, en cada descubrimiento, hemos visto como se vió y se ve reflejada esta influencia en el proyectar del arte y la arquitectura. Pero en muchos casos la intencionalidad del diseñador es muy diferente a los resultados de sus obras, y es ésta la finalidad de la tercera parte de la tesis, analizar si las ideas primigenias del proyecto en realidad concuerdan con los resultados construidos y de cómo estos espacios o edificios pueden de alguna manera afectar ya sea positiva o negativamente a la psique humana. Es aquí donde se plasman unos elementos que pensamos podrían ayudar a esta última

fase del diseño, que trata con la correcta interpretación usando estos nuevos medios de diseño.

### **Técnica con un propósito.**

¿Cuál es el propósito de usar técnicas evolutivas en el proceso de diseño?

*“I am asking for what purpose we might need or want advanced geometry. For what? Why? For whose Benefit? To answer what problem? It is to solve problems of constructability? Improve construction industry? Improve the environment? Energy? Performance? Or is to produce Gehry clones? Or is it to driven by the profit motive of software vendors? Now my answer to my own question is that it is not the advanced geometry itself which is significant at all, but it is the underlying process by which we generated the advanced geometry and the data structures which facilitate it which are significant. The processes which, are being developed for advanced geometry are mostly forms of advanced parameterization, which open the door for many forms of generative design”: (Frazer, 2006)*

La mayoría de las técnicas evolutivas en arquitectura se utilizan para explorar la creatividad dentro del proceso de diseño, este es un aspecto válido si se tiene claro el objetivo a conseguir. El propósito de diseño desde el punto de vista de la gráfica computacional, tiene que ver con el control de la técnica (herramienta) que se está utilizando. Un aspecto muy discutido y sobre todo mal enfocado, con respecto al uso de técnicas evolutivas como medio de exploración creativa en el proceso de diseño, es específicamente lo impredecible que pueden resultar algunas de estas técnicas. Esto viene reflejado por la falta de conocimiento de las restricciones del “software”.

Un algoritmo evolutivo, para que pueda funcionar, tiene que ser diseñado y entendido por su creador. Por lo tanto cada algoritmo es único. En este nivel de diseño, existe el control sobre el modelo, cada elemento del modelo es representado por un patrón de código de lenguaje de programación, aquí no hay limitaciones del software de modelado porque se está manipulando desde el algoritmo directamente. El arquitecto que utiliza las técnicas evolutivas debe trabajar con algoritmos, estructurar las restricciones del modelo a través de rutinas. Por lo tanto el “arquitecto-programador” es el creador y controlador de sus proyectos. Ver el capítulo de representación evolutiva por John Thorsten.

### **Intencionalidad versus accidente en el proceso de diseño morfológico.**

La aparición del CAD en el mundo de la arquitectura, trajo consigo ventajas tanto funcionales como formales. Funcionales desde el punto de vista o desarrollo pragmático de estas, y a su vez en el desarrollo o evolución del proceso de diseño. Las ventajas funcionales son altamente conocidas y las más desarrolladas en el campo de la arquitectura y la construcción resultando así el CAD solo un instrumento que sustituye el lápiz, el papel y el paralex.

Desde el punto de vista de ayuda al proceso de diseño en arquitectura, se han desarrollado numerosas teorías que abstraen aspectos relevantes de los procesos científicos y son aplicados al proceso de diseño, los cuales podemos agrupar en el término de arquitectura digital.

La base de la arquitectura digital radica en la producción de arquitectura únicamente a través de la utilización de programas de CAD, excluyendo así la antigua metodología de los bocetos a mano alzada (sin dejar de ser proyectos con un nivel de expresión altamente orgánico).

Mark Burry, hace referencia al término de arquitectura por accidente definiéndola como la arquitectura que diseña a través de técnicas generativas como la animación de modelos digitales, a través de deformaciones de un objeto 3D, usando los algoritmos genéticos o sistemas-L, etc. Estas técnicas generan un sin fin de posibles resultados sobre un mismo modelo. Si esta arquitectura biomórfico-digital es producida por un accidente imprevisto, es a esto a lo que se le llama arquitectura por accidente. El diseñador es seducido por lo que ve y lo escoge. ¿Quién diseña entonces? ¿Cuál es el nivel de control? ¿Pueden alejarnos estas formas resultadas por error de la finalidad principal del diseño? ¿Cuáles son los criterios de selección de estas formas? ¿puede esta forma seleccionada convertirse en un espacio armoniosamente habitable?

Son preguntas muy delicadas, y no se trata de afirmar que los programas de diseño emergente que se usan hoy en día deban ser eliminados, pero sí pensar en “softwares” de diseño enfocados al diseño arquitectónico, ya que la mayoría de estos programas tienen una finalidad diferente, o son usados para áreas de diseño que no corresponden a la arquitectura, en la que solo se trabaja la geometría de los modelos.

*“Los ‘softwares’ cada vez son más amigables al usuario y le permiten conseguir en unos minutos formas bastante sugestivas; cuando éste es el propósito del diseñador y sobre todo cuando hay una intención clara resultan magníficas estas herramientas. En el caso contrario es un engaño a sí mismo; 5 años atrás los programas de modelado que usaba Greg Lynn para generar sus cuerpos biológicos, eran de uso bastante restringido, pero hoy en día los puedes bajar de la red, cada vez será más fácil generar cualquier forma deseada (o no deseada).” (14)*

En este artículo Burry, propone el diseño paramétrico y la geometría asociativa como respuesta a los accidentes dentro del proceso de Diseño.

Relatando una experiencia que viene al caso, en un taller de proyectos digitales, un alumno vino a mí con un interrogante (sobre un programa de diseño que él no manejaba muy bien):

¿me podría explicar qué comando usé para hacer esta forma, ya que no sé qué botón presione y me salió esta forma que me gusta muchísimo, además quiero usarla para el proyecto y no sé cómo me salió?

No deja de ser llamativa esta proliferación de grandes edificios a manera de esculturas arquitectónicas o las arquitecturas itinerantes que son diseñados hoy en día y que terminan siendo una atracción turística; podría radicar en este deseo de crear nuevas formas llamativas e innovadoras lo que incitaría a los diseñadores a inclinarse por creaciones escultóricas. Las herramientas digitales pueden ser un arma de doble filo, por lo tanto la intención debe primar ante la seducción que ciertas formas puedan generar en nuestra

psique, recordar que los “softwares” de diseño no son más que “una herramienta” y reafirmar el papel del arquitecto a la hora de discernir e interpretar correctamente estas formas.

### **Fascinación con la forma creada.**

*“Hacer mundos consiste en gran parte, aunque sólo, tanto en separar como en conjuntar, y ello a veces al mismo tiempo. Podemos enumerar, por una parte, la división del todo en partes y la desagregación de géneros en subespecies, así como el análisis de conjuntos complejos en virtud de los rasgos que lo componen, el establecimiento de distinciones; y cabe referir, por la otra, la composición de totalidades y de géneros a partir de miembros y subclases, la combinación de rasgos para formar complejos y la realización de otras conexiones...”*

*“...Hay otros casos en los que los diferentes mundos difieren porque son capaces de satisfacer necesidades teóricas y no necesidades prácticas...”*

*Nelson Goodman, Maneras de hacer mundos. Pag. 25*

Las formas orgánicas nos atraen y una producida tan fácilmente aún más. Muchos de estos objetos (modelos computacionales) se asemejan más a una obra escultórica que a una arquitectónica. Una malla tridimensional que se pliega en sí misma recordando las ondas en los sistemas orgánicos y naturales, no deja de ser algo seductor y emotivo para nuestros sentidos. La sinuosidad y sutileza de las superficies escultóricas pueden generarnos placer y calma; las vemos en la pantalla del ordenador pero poder sintetizar esta misma sutileza en el proyecto arquitectónico es la labor del diseñador. No necesariamente se tiene que usar esa forma específica y luego intentar

organizar espacios destinados a ser habitados. Aquí es precisamente en donde la capacidad proyectual del arquitecto debería poder abstraer esta emoción de calma, sutileza y poder expresarla así con ritmo en la totalidad del proyecto. Es aquí en donde la importancia del detalle se resalta, esta misma intención debería ser plasmada desde el pomo de la puerta de entrada hasta las ventanas que dan al patio interior y así sucesivamente entretejiendo esta narrativa de diseño en todo el proyecto.

El problema radica en que muchos arquitectos que utilizan estas técnicas de generación morfo-genética, se aventuran en un campo completamente desconocido para ellos, no saben de ciencia y no saben de computación, o el enfoque hacia estas ramas distintas a la arquitectura parte de la diferenciación entre una mente científica y una mente artística y demuestra al mismo tiempo cómo se puede llegar a una mala interpretación tanto del proceso de diseño como de los resultados.

### **Apuntes sobre el uso de algoritmos genéticos o evolutivos.**

Cuando en el proceso de diseño con intencionalidad y conocimiento de las herramientas intervienen los algoritmos genéticos, puede tener mucho más mérito; está claro que los algoritmos genéticos simulan un proceso de mutación, y es cierto que los arquitectos que usan esta vía para conseguir formas, podrían afirmar que son ellos los que en realidad están siguiendo las leyes de la naturaleza al pie de la letra. Pero en este proceso ya no interviene el arquitecto, es una función matemática la que al azar, a través de una sucesión de cálculos relacionados, definirá la forma final. Ya aquí no se modela un

objeto, solo hay que apretar un botón. Tal es el caso del arquitecto Karl S. Chu quien deja a los algoritmos genéticos el trabajo para producir sus ideas.

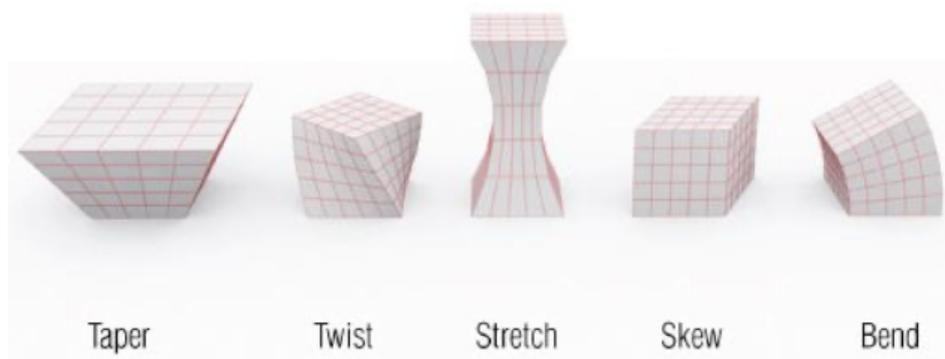
### **Sobre la aleatoriedad en los algoritmos evolutivos.**

Un punto que se considera necesario aclarar en estas técnicas, es el de la aleatoriedad en los métodos evolutivos. La aleatoriedad en los algoritmos evolutivos está basada en la aleatoriedad de las mutaciones genéticas, ya que la selección natural en sí no es aleatoria pues está basada en la selección acumulativa a través de la selección de las especies más aptas

*“The believe that Darwinian evolution is random, is not merely false. It is the exact opposite of the truth. Chance is a minor ingredient in the Darwinian recipe, but the most important ingredient is cumulative selection which is quintessentially non random”. (Dawkins, 1986)*

La mutación genética es un cambio o alteración en la información genética, existen diversas causas que la justifican, pero lo que sí es cierto, es que es bastante improbable predecirla mientras no sea inducida por agentes no naturales. Un algoritmo genético (algoritmo evolutivo) utiliza en muchos casos la aleatoriedad, básicamente en dos partes del proceso: primero en la creación de la población inicial y segundo en el operador de mutación. A partir de aquí es criterio del diseñador, en qué medida introduce la aleatoriedad dentro del algoritmo. Cuando hay conocimiento de los procesos computacionales y hay una clara intención en guiar el diseño desde rutinas o scripts computacionales, afirmar que las técnicas evolutivas no permiten el control dentro del proceso de diseño, es una contradicción, ya que la aleatoriedad en la mayoría de los casos está definida por el mismo diseñador.

Parecen ser dos caminos completamente diferentes, el de la gráfica computacional y el de la armonización de un espacio, pero considero de vital importancia ya sea usar programas de diseño emergente adaptados a las necesidades arquitectónicas que permitan al arquitecto diseñar espacios habitables o, en su caso, ser un arquitecto-programador que con la ayuda y el conocimiento de los algoritmos evolutivos pueda diseñar controlando a estos mismos.

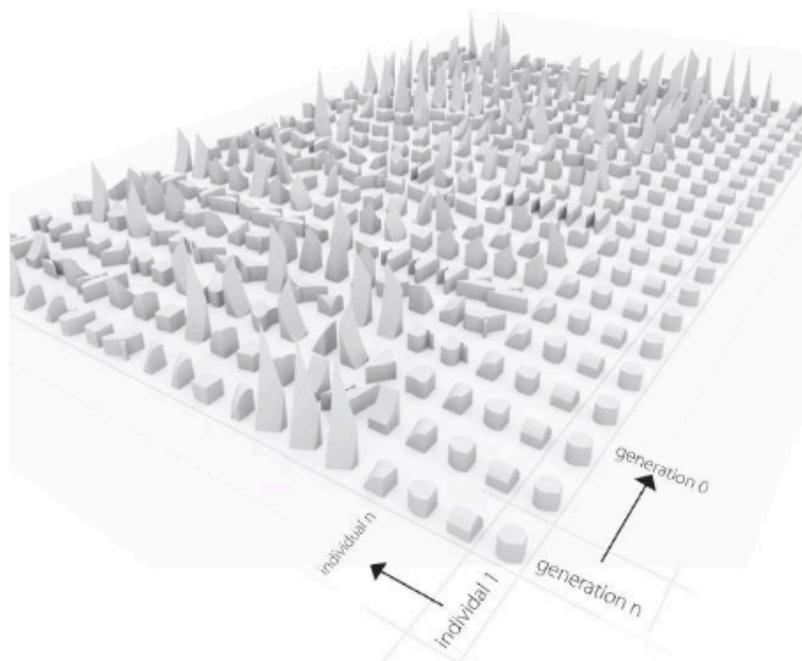


*Fig. 25 serie de deformaciones aplicadas a un cubo, utilizando las operaciones boleadas de los programas de diseño.*

En la figura anterior podemos ver como los programas de modelado, incluyen ciertas funciones que motivan la atención del diseñador con la idea de generar nuevas formas simplemente jugando con técnicas de modificación geométrica como lo son la torsión, hacer más fina una forma, sesgar, doblar etc.

En este caso, con la idea de usar conceptos de genética los diseñadores toman la analogía del código genético y usan las operaciones geométricas de modificación como códigos; torsión, plegar etc. se convierten en códigos que actuarán de acuerdo a los efectos de la luz solar.

No se parte de ningún concepto de necesidad de habitabilidad; para diseñar, la intención final es producir una forma que externamente responde a las variaciones del asoleamiento. Se pretende obtener (generar una idea de diseño a partir de las formas generadas con este algoritmo) ideas a través de este proceso.



*Fig. 26. Múltiples soluciones después de hacer correr el algoritmo.*

“Están jugando con formas geométricas” El medio ambiente no es real, toman la referencia únicamente del sol, viento y temperatura. El entorno no se tiene en cuenta y tampoco muchos otros aspectos del proyectar arquitectónico.

La lista de variables que lo modifican, están limitadas por 5 modeladores geométricos. Estos programas están prediseñados para funcionar de manera estándar. Ellos no saben lo que el usuario quiere, estos programas no piensan en términos arquitectónicos ni mucho menos de diseño.

Al final del proceso, se obtienen muchas familias de modelos diseñados por el algoritmo, resultados a partir de los cuales el diseñador escogerá el modelo definitivo. Incluso utilizando restricciones formales o geométricas, de función espacial etc. Creo que no se podría lograr imitar o simular el proceso que la misma mente del arquitecto puede generar. La mente, el cerebro, está dotado de este centro límbico a partir del cual se coordinan todas las actividades del ser humano. La capacidad de poder sentir, oler, ver, oír, degustar son actos que difícilmente se pueden simular. Los estímulos externos están en constante cambio interactuando tanto con nuestra parte fisiológica como psicológica y es precisamente esto lo que marca la diferencia entre lo humano y lo digital.

## Hacia una correcta aproximación de los programas de diseño emergente (programas evolutivos).

Aunque pueden parecer conceptos que nos alejan de nuestro hacer arquitectónico, en realidad son los conceptos que subyacen a la gráfica computacional y que han sido obviados en muchos de los “proyectos” de esta nueva era digital. Entendiendo el método y el proceso, podemos conocer las limitaciones que le subyacen, hablando de formas geométricas. La investigación de Frazer se puede decir que es la investigación más completa y próxima al quehacer arquitectónico sin caer en redundancias formales ni en espacios inhabitables. En este apartado se pretende aclarar aspectos de la Investigación de John Frazer considerada de gran importancia para el desarrollo de esta tesis. Con la idea de aclarar las malas interpretaciones de la gráfica computacional.

En 1995 John Frazer publica *“An evolutionary architecture”* un libro que compila su trabajo de investigación sobre las técnicas evolutivas aplicadas a la arquitectura, trabajo que comenzó en 1965 y que continuó desarrollando en su tesis doctoral *“Autotectonic: The art and Science of designing and creating self generating, self organizing, self sustaining evolving Systems”*. Esta investigación se desarrolló completamente en el ámbito de la complejidad computacional, y enriqueciendo los logros obtenidos en sus anteriores investigaciones como:  
La creación de un lenguaje de proceso formal (*Shape Procesing Language*):

Un lenguaje específico para la gráfica computacional desarrollado por Frazer, Coates and Scott (1979 – 81) para describir operaciones gráficas de complejidad, adaptado a las necesidades del usuario.

Un lenguaje genético para la arquitectura (*Genetic Language for Architecture*) usado para codificar conceptos arquitectónicos en una forma adecuada a la evolución genética.

Cabe aclarar que estos lenguajes no tienen nada que ver con las gramáticas formales ni espacios sintácticos, tampoco son “*plug in*”. El primero es un lenguaje tal como los lenguajes de diseño de “softwares”, con la característica de ser únicos y enfocados a la arquitectura desde el punto de vista de la computación evolutiva.

Frazer, además, aclara cuáles son las técnicas evolutivas y cuáles serían las más adecuadas para ayudar al proceso de diseño arquitectónico tales como:

Diseño Paramétrico (geometría de variables).

Método Combinatorial (Rule based systems, sistemas basados en reglas).

Método de Sustitución (Sistemas L, Gramáticas formales).

Modelos basados en agentes (Vida Artificial, Swarming).

Método matemático (descripción por ecuaciones, Algoritmos).

Métodos de partición espacial (subdivisiones recursivas del espacio, voxels).

Lenguajes de procedimiento formal (Como el usado en el proyecto Reptile, SPL).

Dispositivos de computación paralela (Poli autómatas, autómatas celulares).

De las cuales las más adecuadas como herramienta al proceso de diseño serían las que Frazer aconseja, dos técnicas que en el caso de querer utilizarlas podrían ser de gran ayuda en una primera fase del proyecto:

Como técnica generativa: El Autómata celular.

Como técnica de aprendizaje: Los Algoritmos genéticos.

### **Redefiniendo el proceso:**

La lista puede ser interminable; en gráfica computacional, hay tantas investigaciones como científicos; todas ellas basadas en los ejemplos que tomamos de los modelos naturales. Intentar compaginar esto en arquitectura a nivel teórico lo veo factible. Cuando queremos abstraer los sistemas orgánicos de la naturaleza y usarlos a manera de metáfora o analogía dentro del proyecto, son un elemento que enriquece el proceso de diseño. Pero en caso contrario, este proceso creativo del mismo diseñador, se ve cortado por el uso de programas de diseño emergente, es aquí cuando lo impredecible toma partida. El diseñador ya no tiene el control. Depende de los resultados del “software” de modelado o del algoritmo del programa que esté usando. El proceso de creación se ve cortado, ya que el proceso creativo que tenía lugar en su cerebro se extrapola a la pantalla del ordenador, y de la misma manera en que infinitas formas surgen de los algoritmos genéticos, infinitas formas pueden

surgir de la cabeza del diseñador. Los ordenadores se basan en la analogía del cerebro humano para funcionar, copiando su sistema.

La idea de obtener infinitas soluciones viene por una parte, del ámbito del diseño industrial, y más exactamente del proceso de fabricación de piezas CAD-CAM. Aquí tiene su origen uno de los sistemas de modelado conocido como el diseño paramétrico y variacional (el que propone Mark Burry). En estos medios de modelado en el que la precisión en los objetos tridimensionales es de gran importancia, poder controlar cada elemento geométrico de la pieza ayudará a la optimización del proceso; permitiendo poder reconfigurar completamente el modelo sin necesidad de remodelarlo cada vez que haya cambios. Por lo tanto la finalidad de estos “softwares” nunca fue la de explorar la creatividad, sino la de tener control sobre una pieza de diseño que luego se produciría en masa.

Debemos tener mucho discernimiento, claridad y mucho conocimiento de estas herramientas, ya que ellas pueden distorsionar completamente el proceso de diseño. Por ejemplo, Mark Burry, desde 1979 es arquitecto consultor de la Sagrada Familia (Barcelona). Autor del monográfico *Templo Expiatorio de la Sagrada Familia* (1993). Burry es uno de los principales representantes en lo que se refiere a diseño paramétrico en arquitectura. En la Sagrada familia, Burry ha implementado el proceso de parametrizar las piezas que se producirían a través de las máquinas de control numérico (CAD-CAM). En ningún momento se ha usado el diseño paramétrico para crear el diseño de la sagrada familia. La técnica con un propósito hace referencia a este

aspecto, el de usar las herramientas digitales que ofrece la gráfica computacional para desarrollar aspectos específicos del diseño; no para reemplazar la labor del arquitecto.

Los algoritmos evolutivos y de optimización son frecuentemente usados en aspectos de construcción, sobre todo en la optimización de piezas y conexiones específicas en la estructura de un edificio, de un puente, en el diseño de coches, barcos etc. Usar un algoritmo evolutivo para reemplazar el proceso de diseño, me parece incorrecto si no se tienen conocimientos de programación.

El arquitecto debe saber de programación para poder tener el control del proceso de diseño. Debe saber cómo crear las restricciones geométricas que le permitan obtener los resultados deseados. Un ejemplo muy didáctico de lo que es un algoritmo es el ejemplo de la receta de cocina: incluye los ingredientes que necesitas y obtienes el pastel que deseas. De la misma manera, en programación, cada paso que da el “software” debe ser codificado. De esta manera se puede garantizar más control dentro del proceso. Aunque seguiríamos a la merced de lo aleatorio e impredecible, tendríamos más control sobre estas herramientas.

Después de haber visto en la tercera parte de la tesis cómo las formas afectan sea positiva o negativamente a nuestra psique, la idea de responsabilidad social debería ir asentándose más en nosotros. La analogía, la metáfora, la simulación, etc. son aspectos del diseño que han motivado a

grandes arquitectos y pensadores a crear obras de arte; éstas formaban parte de un sistema social, integrándose en su cultura, siguiendo la misma lectura sagrada y socio-cultural del entorno que ocupaban. De ninguna manera resultaban ser un objeto aislado del que se puede prescindir en cualquier momento.

La labor del arquitecto tiene que ser más elevada, no debe limitarse sólo a jugar con formas para obtener modelos escultóricos. En el ejemplo del Biocentrum de Peter Eisenman, (capítulo 2.3.2. La analogía del código genético, página 148), Eisenman utiliza la analogía del código genético para jugar con formas geométricas, las cuales le ayudarán a definir el proyecto. Sí, es verdad que es una analogía válida, pero que esta analogía defina cómo será la forma final sabiendo las repercusiones que pueda tener en el comportamiento humano, es muy cuestionable.

Tal vez podría recordar aquí la respuesta que le da a Christopher Alexander en el debate sobre “la armonía en el espacio” (ver Anexo II), Alexander le pregunta si no considera que la sociedad ya tiene suficiente ansiedad como para seguir creando ansiedad en forma de edificios. Eisenmann responde de alguna manera afirmando que sí, ya que la ansiedad es parte de nosotros y que crear formas armoniosas sería engañar a las personas haciéndoles ver que todo está bien.

Dos caminos muy diferentes. Esta tesis se decanta por la posición de Alexander y es lo que ha intentado recopilar en la tercera parte, una serie de

códigos - patrones que consideramos podría mejorar el proceso de diseño actual en el campo de la arquitectura digital. Tal vez un tema que podría estudiarse más adelante sería la extensión de estos principios al campo urbanístico, ampliando la escala. Pero esta tesis se ha centrado en estudiar el aspecto más arquitectónico.

Observando los avances en el diseño que hayan podido ocurrir en los últimos diez años, la verdad es que no ha ocurrido un gran cambio. Tal vez la aparición de nuevos “softwares” algunos de ellos brindando la oportunidad al diseñador de poder crear sus propias líneas de código dentro del programa. Pero la intención es la misma, explorar la creatividad, explorar formas geométricas, que a nivel de composición pueden ser interesantes. Pero a modo de conclusión, recordamos que las implicaciones de esas formas con las que podamos estar jugando, tienen unos efectos en el comportamiento de sus habitantes y que nosotros como arquitectos tenemos la responsabilidad de brindarles bienestar y armonía.

Podemos hacerlo integrando aspectos de la naturaleza, que les permitan a los ocupantes de estos espacios el poder experimentar, ser nutridos neurológicamente con un tipo de información fácil de interpretar y que les generen paz, armonía, y bienestar; en el capítulo “3.1.2. Patrones como códigos”, mencionamos tres puntos que pueden resultar muy favorables el introducirlos en el proceso de diseño: La “Biofilia y la Teoría restaurativa”, dentro de ésta, 8 sub-aspectos (la luz, el color, la gravedad, los fractales, las

curvas, el detalle, el agua y la vida); “Los fractales y sus beneficios”; y “la escala”.

Todos estos elementos son ejemplos que científicos, matemáticos y arquitectos han tomado como referencia de la naturaleza. No es una nueva teoría de vanguardia, son elementos que nos han acompañado desde siempre y que está claro que su funcionamiento es perfecto. Si los seres humanos dejaran de existir ahora mismo, la naturaleza seguiría existiendo y el medio ambiente estaría mejor. Por lo tanto este pensamiento de querer crear ideas nuevas de vanguardia, únicas, pierde importancia. Se trata de retomar lo que ya existe, reconocerlo y sobre todo reconocer que nosotros somos parte integrante de este vasto sistema natural.

Los sistemas orgánicos son incontables, en esta tesis hemos intentado resumirlos limitándonos a los relacionados con la evolución y la genética, usando así mismo esta analogía con el espacio genético. Un espacio más cercano a las necesidades individuales del ser humano; un espacio que está pensado no para un hombre con “el modelo de Vitruvio, ni para el modelo de Le Corbusier” (Salingaros, 2006); sino un hombre que trasciende las limitaciones del pequeño personaje y se integra a esta magnifico ritmo universal.

## REFERENCIAS

### PRIMERA PARTE.

- (1) **ALEXANDER Christopher.** *"The Nature of Order"*, Books 1-4, Center for Environmental Structure, Berkeley, California. *Book 1: The Phenomenon of Life*, 2001; *Book 2: The Process of Creating Life*, 2002; *Book 3: A Vision of a Living World*, 2005; *Book 4: The Luminous Ground*, 2004.
- (2) **VITRUVIO POLIÓN, Marco.** *"Los diez libros de Arquitectura"*. Con prólogo de D. Rodríguez. En el primer capítulo del libro III. Madrid: Editorial Alianza. 2009.
- (3) **PLATÓN.** *"Platón obras completas, edición de Patricio de Azcárate, tomo 2"*, Madrid. Página 333. 1871.
- (4) **PLATÓN.** *"Platón obras completas, edición de Patricio de Azcárate, tomo 2"*, Madrid. Página 321. 1871.
- (5) **ARISTOTLE.** *The "Art" of Rhetoric*, I, I,1. Trans, John Henry Freese, Cambridge, Mass. London. Página 3. 1994.
- (6) **ARISTOTLE.** *"Metaphysics"*, Libro I, translation from The Works of Aristotle, ed. W. D. Ross. London, 1994.
- (7) **ALBERTI, Leon Battista.** *"Los diez libros"*: imprenta, Joseph Franganillo, Madrid. Libro VI. 1797.

- (8) **ALBERTI, Leon Battista.** *“Los diez libros”*: imprenta, Joseph Franganillo, Madrid. Libro VI. 1797.
- (9) **ALBERTI, Leon Battista.** *“Los diez libros”*: imprenta, Joseph Franganillo, Madrid. Libro IX. 1797.
- (10) **VAN ECK, Caroline.** *“The Structure of "De re aedificatoria" Reconsidered”*  
*Source: Journal of the Society of Architectural Historians, Sep., 1998, Vol. 57, No. 3 .*  
*pp. 280-297. Sep., 1998.*
- (11) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*.  
Tusquets Editores S.A. Páginas 31-32. 1999.
- (12) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*.  
Tusquets Editores S.A. Página 32. 1999.
- (13) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*.  
Tusquets Editores S.A. Página 35. 1999.
- (14) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*.  
Tusquets Editores S.A. Página 60. 1999.
- (15) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*.  
Tusquets Editores S.A. Página 64.1999.
- (16) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*.  
Tusquets Editores S.A. Página 197. 1999.
- (17) **BOUCHER, Bruce.** *“Nature and the Antique in the Work of Andrea Palladio”*,  
*Journal of the Society of Architectural Historians, Sep, Vol. 59, No. 3. Página*  
*305. 2000.*

- (18) **HERSEY, George.** *“The Monumental Impulse Architecture’s Biological Roots”*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England. Pág. 159. 2001
- (19) **HANSLI, Thomas.** *“Parrhasius’s curtain: Visual Simulation’s Mimesis and mediality.”* En “Simulation. Presentation Technique and cognitive Method. Birkhauser, Verlag AG. Basel. Pag, 15. 2008.
- (20) **HANSLI, Thomas.** *“Parrhasius’s curtain: Visual Simulatio’s Mimesis and mediality.”* En “Simulation. Presentation Technique and cognitive Method. Birkhauser, Verlag AG. Basel. Pag, 15. 2008.
- (21) **VAN ECK, Caroline.** *“Organicism in nineteenth century Architecture, “An inquiry into its theoretical and philosophical background”*, Architectura and Natura Press, 1994.
- (22) **ALBERTI, Leon Battista.** *“Los diez libros”*: imprenta, Joseph Franganillo, Madrid, 1797.
- (23) **JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*, Tusquets Editores S.A. 1999.
- (24) **VAN ECK, Caroline.** *“Organicism in nineteenth century Architecture, “An inquiry into its theoretical and philosophical background”*, Architectura and Natura Press, 1994.
- (25) **VAN ECK, Caroline.** *“Organicism in nineteenth century Architecture, “An inquiry into its theoretical and philosophical background”*, Architectura and Natura Press, 1994.
- (26) **THOMPSON, D’Arcy.** *“On Growth on Form”*, Cambridge the University Press, 1969.

(27) **RODRIGUEZ, Glendali.** *“Special Topics in Architectural History and Theory an Introduction to Modern Architecture and the Modern City”*, Paris Pre-Modern/ Transitional Buildings, January 26, 2000.

(28) **RODRIGUEZ, Glendali.** *“Special Topics in Architectural History and Theory an Introduction to Modern Architecture and the Modern City”*, Paris Pre-Modern/ Transitional Buildings, January 26, 2000.

(29) **RODRIGUEZ, Glendali.** *“Special Topics in Architectural History and Theory an Introduction to Modern Architecture and the Modern City”*, Paris Pre-Modern/ Transitional Buildings, January 26, 2000.

(30) **SEMPER Gottfried.** *“The Four Elements of Architecture and Other Writings”*, Trans. Harry Francis Mallgrave. Cambridge University Press, Cambridge, 1851

(31) **SEMPER Gottfried.** *“The Four Elements of Architecture and Other Writings”*, Trans. Harry Francis Mallgrave. Cambridge University Press, Cambridge, 1851.

(32) **MUMFORD Mark.** *“Form Follows Nature: The Origins of American Organic Architecture”* *Journal of Architectural Education*, Spring Vol. 42, No. 3 . pp. 26-37. 1989.

(33) **MUMFORD Mark.** *“Form Follows Nature: The Origins of American Organic Architecture”* *Journal of Architectural Education*, Spring. Vol. 42, No. 3, pp. 27-28. 1989.

(34) **VAN ECK, Caroline.** *“Organicism in nineteenth century Architecture, “An inquiry into its theoretical and philosophical background”*, Architectura and Natura Press, 1994.

(35) **VAN ECK, Caroline.** *“Organicism in nineteenth century Architecture, “An inquiry into its theoretical and philosophical background”*, Architectura and Natura Press, 1994.

(36) **SULLIVAN LETTER TO CLAUDE BRAGDOM.** July 25, 1904, in Bragdon, 'Letters from Louis Sullivan,' *Architecture*, Vol. 6 July 1931), p. 8.1931.

(37) **MUMFORD Mark,** "Form Follows Nature: The Origins of American Organic Architecture" *Journal of Architectural Education*, Spring, Vol. 42, No. 3, pp. 27-28. 1989.

(38) **MERFYN Davies.** *"The embodiment of the concept of organic expression: Frank Lloyd Wright, Architectural History 25, 1982.*

(39) **FRANK LLOYD WRIGHT.** *"The Japanese print: An interpretation. Ralph Fletcher Seymour, Co. Chicago, 1912.*

(40) **ADAMS David.** *"Rudolf Steiner's First Goetheanum as an Illustration of Organic Functionalism", JSAH, 1992.*

(41) **ADAMS David.** *"Rudolf Steiner's First Goetheanum as an Illustration of Organic Functionalism", JSAH, 1992.*

(42) **ADAMS David.** *"Rudolf Steiner's First Goetheanum as an Illustration of Organic Functionalism", JSAH, 1992.*

(43) **ADAMS David.** *Rudolf Steiner's Architectural Impulse in Modern Architectural history: Working with the formative process of Nature, The Journal of the Society of Architectural Historians, 1982*

- (45) **CHERFAS, Jeremy.** *“Introducción a la Ingeniería Genética”*, Alianza Universidad, 1982.
- (46) **STEADMAN, Philip.** *“Arquitectura y Naturaleza, las Analogías Biológicas en el Diseño”*, H. M. Blume Ediciones, 1982.
- (47) **KUROKAWA, Kisho.** *“From Metabolism to Symbiosis”*, London Academy Edition, New York St Martin’s Press 1992.
- (48) **KUROKAWA, Kisho.** *“From Metabolism to Symbiosis”*, London Academy Edition, New York St Martin’s Press 1992.
- (49) **KUROKAWA, Kisho.** *“The architecture of Metabolism”*, Studio Vista London, 1977.
- (50) **KUROKAWA, Kisho.** *“From Metabolism to Symbiosis”*, London Academy Edition, New York St Martin’s Press 1992.
- (51) **KUROKAWA, Kisho.** *“The architecture of Metabolism”*, Studio Vista London, 1977.
- (52) **KUROKAWA, Kisho.** *“The architecture of Metabolism”*, Studio Vista London, 1977.
- (53) **ALDERSEY- WILLIAMS, Hugh.** *Zoomorphic New Animal Architecture*, London Lawrence King 2003.

- (54) **ALDERSEY- WILLIAMS, Hugh.** *Zoomorphic New Animal Architecture*, London Lawrence King 2003.
- (55) **ALDERSEY- WILLIAMS, Hugh.** *Zoomorphic New Animal Architecture*, London Lawrence King 2003.
- (56) **CANDELA Félix,** “*En defensa del formalismo y otros escritos.*” Xarait ediciones, Bilbao, 1985.
- (57) **ALDERSEY- WILLIAMS, Hugh.** *Zoomorphic New Animal Architecture*, London Lawrence King 2003.
- (58) **ALDERSEY- WILLIAMS, Hugh.** *Zoomorphic New Animal Architecture*, London Lawrence King 2003.
- (59) **THOMPSON, D’Arcy.** “*On Growth on Form*”, Cambridge the University Press, 1969.
- (60) **DOLLENS Dennis.** “*arquitectura botánica y digital*”, revista Experimenta N° 45. Julio de 2003.
- (61) **OOSTERHUIS, Kas.** “*E-motive Architecture*”, 010 Publishers, Rotterdam 2002.
- (62) **LYNN, Greg.** “*Folds, Bodies & Globes Collected Essays*”, Bruxelles La Lettre Volée, 1998.

## SEGUNDA PARTE

- (1) **DELEUZE Gilles.** *“Foucault”*. Minneapolis: University of Minneapolis press, 1988.
- (2) **GAROFALO Luca.** *“Digital Eisenman: An office of the Electronic era”*. Basel Birkhauser publishers for architecture, 1999. Pag 84.
- (3) **GAROFALO Luca.** *“Digital Eisenman: An office of the Electronic era”*. Basel Birkhauser publishers for architecture, 1999. Pag 87.
- (4) **STEADMAN, Philip.** *Architectural morphology: an introduction to the geometry of building plans*. Pion Limited, 1983.
- (5) **STEADMAN, Philip.** *Architectural morphology: an introduction to the geometry of building plans*. Pion Limited, 1983.
- (6) **EI CROQUIS n° 72.** *“Enric Miralles”*. El Croquis editorial Madrid, 1995.
- (7) **FRAZER, John.** *“An Evolutionary Architecture”*, London: Architectural Association, 1995.
- (8) **CHU Karl S.** *“Metaphysics of Genetic Architecture and Computation*. Architectural Design, 2006.
- (9) **CHU Karl S.** *“Metaphysics of Genetic Architecture and Computation*. Architectural Design, 2006.

### TERCERA PARTE

(1) **SALINGAROS Nikos A.** *“Twelve Lectures on Architecture: Algorithmic Sustainable Design”*. Umbau Verlag, 2010. Pag, 52.

(2) **STERNBERG Esther M.** *“Healing Spaces: The Science of Place and Well-Being”*. Belknap Press of Harvard University Press, 2009.

(3) [http://www.katarxis3.com/Alexander\\_Eisenman\\_Debate.htm#The%20Debate](http://www.katarxis3.com/Alexander_Eisenman_Debate.htm#The%20Debate)

(4) **SALINGAROS Nikos A.** *“Twelve Lectures on Architecture: Algorithmic Sustainable Design”*. Umbau Verlag. Pag, 196. 2010.

(5) **SALINGAROS Nikos A.** *“Twelve Lectures on Architecture: Algorithmic Sustainable Design”*. Umbau Verlag. Pag, 142-143. 2010.

(6) **SALINGAROS Nikos A.** *“Neuroscience, the Natural Environment, and Building Design”*. Chapter 5 of: *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*, edited by Stephen R. Kellert, Judith Heerwagen, and Martin Mador. John Wiley, New York. pages 59-83 2008.

(7) **SALINGAROS Nikos A.** *“Biophilia, healing environments. Healthy principles for designing the built world”*. Terrapin, Bright Green, 2015.

- (8) **SALINGAROS Nikos A.** “*A Theory of Architecture*”, Umbau-Verlag, Solingen, Germany; reprinted 2014, Sustasis Press, Portland, Oregon and Vajra Books, Kathmandu, Nepal. 2006.
- (9) **SALINGAROS Nikos A.** “Fractal Art and Architecture Reduce Physiological Stress”, JBU *Journal of Biourbanism*, Volume 2, No. 2, pages 11-28. (2012a)
- (10) **SALINGAROS Nikos A.** “*Biophilia, healing environments. Healthy principles for designing the built world*”. Terrapin, Bright Green, 2015.
- (11) **SALINGAROS Nikos A.** “*Twelve Lectures on Architecture: Algorithmic Sustainable Design*”. Umbau Verlag. Pag, 25-26. 2010.
- (12) EMBT. Obras y proyectos, p.224 (Tesis Montserrat Bigas Vidal. Juego de dimensiones y escalas p. 210.)
- (13) Referencia tomada de la tesis doctoral de Montserrat Bigas. Entrevista a Louis Kahn, Revista Perspecta no 7, 1961. Idea e imagen, pp. 70 y 71.
- (14) **BURRY Mark.** en “*Hypersufase Architecture II, Architetural Design*” 1999, *Paramorph Anti- Accident Methodologies*.

## ANEXO I

### View Through a Window May Influence Recovery from Surgery.

Roger S. Ulrich.

*Science, New Series, Volume 224, Issue 4647 (Apr. 27, 1984), 420-421. 1984.*

Investigations of aesthetic and affective responses to outdoor visual environments have shown a strong tendency for American and European groups to prefer natural scenes more than urban views that lack natural elements (1, 2). Views of vegetation, and especially water, appear to sustain interest and attention more effectively than urban views of equivalent information rate (2). Because most natural views apparently elicit positive feelings, reduce fear in stressed subjects, hold interest, and may block or reduce stressful thoughts, they might also foster restoration from anxiety or stress (3).

The restorative effect of natural views on surgical patients was examined in a suburban Pennsylvania hospital (200 beds). Such patients often experience considerable anxiety (4, 5), and hospital confinement limits their access to outdoor environments almost entirely to views through windows. Views to the outside may be especially important to individuals who have unvarying schedules and spend a great deal of time in the same room (6), such as surgical patients. It is possible that a hospital window view could influence a patient's emotional state and might accordingly affect recovery.

Records of patients assigned to rooms on the second and third floors of a three-story wing of the hospital between 1972 and 1981 were obtained. Windows on one side of the wing look out on either a small stand of deciduous trees or a brown brick wall (Fig. 1). The same nurses are assigned to the rooms on a given floor; the nurses' stations are located somewhat closer to the wall-view rooms on both floors. The rooms are all for double occupancy and are nearly identical in terms of dimensions, window size, arrangement of beds, furniture, and other major physical characteristics. Each room has a single window 1.83 m high and 1.22 m wide with the lower edge 74 cm above the floor. The size and placement of the window allow an unobstructed view out for a patient lying in bed on either side of the room. The rooms differ, therefore, essentially only in what is seen through the window. Patients are assigned to rooms as they become vacant.

The sample consisted exclusively of patients who had undergone cholecystectomy, a common type of gall bladder surgery. This is a comparatively standardized procedure with similar postoperative management in the uncomplicated cases. Only cholecystectomies performed between 1 May and 20 October (1972 through 1981) were identified because the trees have foliage during those months. Patients younger than 20 years or older than 69, patients who developed serious complications, and those with a history of psychological disturbances were excluded. Patients were then matched so that one member of each pair had a view of the trees and the other, the brick wall. The criteria for matching were sex, age (within 5 years), being a smoker or

nonsmoker, being obese or within normal weight limits, general nature of previous hospitalization, year of surgery (within 6 years), and floor level. Patients on the second floor, a surgical floor, were also matched by the colour of their room (rooms on that floor alternate between blue and green). The 6-year interval for year of surgery was established on the basis of inquiries concerning possible changes in procedures. There was no statistically significant difference in the sampling distributions by year of surgery between the wall-view and tree-view groups. The final data base consisted of records of 46 patients grouped into 23 pairs (15 female and 8 male). An attempt was made to match patients by physician, but this was possible for only seven pairs because the number of doctors was large. However, for the remaining pairs the distribution of different physicians was similar in the two groups. There was no instance, for example, when patients of the same doctor all had rooms with same view.

Recovery data were extracted from the records by a nurse with extensive surgical floor experience. The nurse did not know which scene was visible from a patient's window. Five types of information were taken from each record; number of days of hospitalization; number and strength of analgesics each day (7); number and strength of doses for anxiety, including tranquilizers and barbiturates, each day (8); minor complications, such as persistent headache and nausea requiring medication--symptoms which are considered to result frequently from conversion reactions (9); and all nurses' notes relating to a patient's condition or course of recovery. Length of hospitalization was defined as day of surgery to day of discharge. These data

were assumed to be only ordinal because surgery was performed at different times of day and discharge times were somewhat different. The records showed that patients with window views of the trees spent less time in the hospital than those with views of the brick wall: 7.96 days compared with 8.70 days per patient [Wilcoxon matched-pairs signed-ranks analysis,  $T(17) = 35$ ,  $z = 1.965$ ,  $P = 0.025$ ].

Nurses' notes consisted of comments about the patient's condition written during the postsurgical period ending at midnight of the seventh recovery day after the day of surgery. Notes were classified as negative or positive--for example, negative notes included "upset and crying" or "needs much encouragement," and positive notes included "in good spirits" and "moving well." More negative notes were made on patients with the brick wall view: 3.96 per patient compared to 1.13 per patient with the tree view [Wilcoxon matched-pairs signed-ranks analysis,  $T(21) = 15$ ,  $z = 3.49$ ,  $P < 0.001$ ]. Although more positive comments were recorded for the tree-view patients, the difference was not statistically significant.

The multivariate two-sample Hotelling test was used to compare the groups for analgesic intake (10). The average number of doses per patient, within each strength level, was computed for (i) the day of surgery and first recovery day, (ii) days 2 through 5 after surgery, and (iii) days 6 and 7 after surgery. It was expected that for the first period no differences in analgesic intake would be found between the two groups, because patients would have been too drugged or too absorbed by intense pain to attend to the windows (5). It was also expected that there would be no significant variation across

groups in the final two days. In fact, only 45 percent of the patients took any analgesics after the fifth day. The data are summarized in Table 1.

For the period of primary interest, days 2 through 5, there were statistically significant variation between the tree-view and wall-view patients in the mean number of analgesic doses ( $T_2 = 13.52$ ,  $F = 4.30$   $P < 0.01$ ). In the other two periods there were no significant differences. In days 2 through 5 patients with the tree view took fewer moderate and strong pain doses than did the wall-view group and more doses in the weak category. The wall group, therefore was given many more doses of potent narcotics, whereas the tree group more frequently received such drugs as aspirin and acetaminophen. With respect to doses of antianxiety drugs, there was no significant variation between the groups. Wall-view patients were given more doses of narcotic analgesics, which produce drowsiness or sedation as side-effects, possibly reducing their need for sleeping pills or tranquilizers. To test this inverse relation, antianxiety dose frequencies were compared when patients took either no or one strong or moderate analgesic dose or at least two strong or moderate analgesic doses. The observed frequency of doses was lower than the expected frequency when two or more strong or moderate analgesics were taken on the same day [ $\chi^2(1) = 10.45$ ,  $P < 0.01$ ]. The intake of narcotic analgesics by patients with the wall view may have lowered their use of antianxiety drugs to that of patients with the tree view.

A weighted score of minor postsurgical complications (excluding routine postanesthetic occurrences such as nausea) was computed for each

patient, with criteria and procedures similar to those used by Cohen and Lazarus (9, 11). Although tree-view patients had lower scores, the difference was not statistically significant. This small difference found may be due to the greater intake of potent analgesics by the wall-view group rather than to a possibly higher frequency of conversion reactions.

In summary, in comparison with the wall-view group, the patients with the tree view had shorter postoperative hospital stays, had fewer negative evaluative comments from nurses, took fewer moderate and strong analgesic doses, and had slightly lower scores for minor postsurgical complications. Although the findings suggest that the natural scene had comparatively therapeutic influences, it should be recognized that the "built" view in this study was a comparatively monotonous one, a largely featureless brick wall. The conclusions cannot be extended to all built views, nor to other patient groups, such as long-term patients, who may suffer from low arousal or boredom rather than from the anxiety problems typically associated with surgeries. Perhaps to a chronically understimulated patient, a built view such as a lively city street might be more stimulating and hence more therapeutic than many natural views. These cautions notwithstanding, the results imply that hospital design and siting decisions should take into account the quality of patient window views.

## References and Notes

J. F. Wohlwill, in *Human Behavior and Environment*, I. Altman and J. F. Wohlwill, Eds. (Plenum, New York, 1976), vol. 1, pp. 37-86; E. H. Zube, D. G. Pitt, T. W. Anderson, in *Landscape Assessment: Values, Perceptions, and Resources*, E. H. Zube, R. O. Brush, J. G. Fabos, Eds. (Dowden, Hutchinson, & Ross, Stroudsburg, Pa., 1975), pp. 151-167; J. F. Palmer, in *Priorities for Environmental Design Research*, S. Weidemann and J. R. Anderson, Eds. (Environmental Design Research, Washington, D.C., 1978), pp. 92-103.

2. R. S. Ulrich, *Landscape Res.* 4, 17 (1979); *Eviron. Behav.* 13, 523 (1981).

3. In *Human Behavior and the Natural Environment*, I. Altman and J. F. Wohlwill, Eds. (Plenum, New York, 1983), pp. 85-125.

4. A. Martínez-Urrutia, *J. Consult. Clin. Psychol.* 43, 437 (1975); E. J. Langer, I. L. Janis, J. A. Wolfer, *J. Exp. Soc. Psychol.* 11, 155 (1975).

5. C. R. Chapman and G. B. Cox, *J. Psychosom. Res.* 21, 7 (1977).

6. B. L. Collins, *Windows and People: A Literature Survey* (NBS Building Science Series 70, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1975).

7. Analgesic doses were classified as weak, moderate, or strong on the basis of

the drug, dosage, patient's weight, and whether the drug was administered orally or by injection. Examples in the weak category include acetaminophen and acetaminophen with small amounts of codeine. Examples in the moderate strength class are injections of meperidine hydrochloride (Demerol) in doses up to 50 mg, and tablets of oxycodone hydrochloride-oxycodone terephthalate (Percodan); strong analgesics include hydromorphone hydrochloride (Dilaudid) and large doses of meperidine hydrochloride.

8. Tranquilizers and barbiturates doses were classified as weak, moderate, or strong according to similar criteria used for analgesics. The antianxiety drugs in the weak category were tranquilizers; the moderate class was dominated by tranquilizers; and the vast majority in the strong category were large dosages of barbiturates. No distinction was made between tranquilizers and barbiturates in terms of function because tranquilizers were often prescribed as sleeping medications.

9. F. Cohen and R. S. Lazarus, *Psychosom. Med.* 35, 375 (1973).

10. D. F. Morrison, *Multivariate Statistical Methods* (McGraw-Hill, New York, ed. 2, 1976), p. 137.

11. Minor complications were scored as follows: nausea (1 point); nausea requiring medication (2 points); antacids given (1 point); rectal tube for gas (1 point); inability to move bowels, enema given (2 points); inability to void, catheterization required (2 points); medication for diarrhea, gut irritability, or

both (1 point); medication for constipation or for urine stimulation (1 point); and antibiotics given for postoperative fever and infection (3 points).

12. The collection of data was facilitated by the full cooperation of W. M. Tomlinson and A. King, president and director of medical records, respectively, of Paoli Memorial Hospital, Paoli, Pa. I thank M. Mozzani for reading patient records, A. E. Hoerl for statistical consultation, and several physicians for their helpful comments on research methods. I also thank S. M. Parnes, L. P. Herrington, M. Zuckerman, and T. C. Meierding. Supported by grant 23170 from the Consortium for Environmental Forestry Studies, U.S. Department of Agriculture Forest Service. 24 January 1983; accepted 1 November 1983

Table: Comparison of analgesic doses per patient for wall-view and tree-view groups. Photo: Fig. 1. Plan of the second floor of the study hospital showing the trees versus wall window views of patients. Data were also collected for patients assigned to third-floor rooms. One room on each floor was excluded because portions of both the trees and wall were visible from the windows.

## ANEXO II

### THE DEBATE:

"Contrasting Concepts of Harmony in Architecture"

*First published in Lotus International 40 (1983), pages 60-68. Reprinted in Studio Works 7 (Harvard University Graduate School of Design), Princeton Architectural Press (2000), pages 50-57.*

**Peter Eisenman:** I met Christopher Alexander for the first time just two minutes ago, but I feel I have known him for a long time. I suddenly sense that we have been placed in a circus-like atmosphere, where the adversarial relationship which we might have -- which already exists -- might be blown out of proportion. I do not know who the Christian is and who the lion, but I always get nervous in a situation like this. I guess it is disingenuous on my part to think that with Chris Alexander here something other than a performance would be possible.

Back in 1959, I was working in Cambridge, U.S.A., for Ben Thompson and The Architects Collaborative [*Gropius's firm*]. I believe Chris Alexander was at Harvard. I then went to Cambridge, England, again not knowing that he had

already been there. He had studied mathematics at Cambridge and turned to architecture. I was there for no particular reason, except that Michael McKinnell told me that I was uninformed and that I should go to England to become more intelligent.

**Christopher Alexander:** I'm very glad you volunteered that information. It clears things up.

**Audience:** (Laughter)

**PE:** In any case, Sandy [*Colin St. John*] Wilson, who was then a colleague of mine on the faculty at Cambridge and is now professor at the School of Architecture at Cambridge, gave me a manuscript that he said I should read. It was Alexander's Ph.D. thesis, which was to become the text of Chris's first book, "*Notes on the Synthesis of Form*". The text so infuriated me, that I was moved to do a Ph.D. thesis myself. It was called "*The Formal Basis of Modern Architecture*" and was an attempt to dialectically refute the arguments made in his book. He got his book published; my thesis was so primitive that I never even thought of publishing it.

In any case, I thought that today we could deal with some of my problems with his book. But then I listened to the tape of his lecture last night, and again I find myself in a very similar situation. Christopher Alexander, who is not quite

as frightening as I thought -- he seems a very nice man -- again presents an argument which I find the need to contest. Since I have never met him prior to this occasion, it cannot be personal; it must have something to do with his ideas.

Chris, you said we need to change our cosmology, that it is a cosmology that grew out of physics and the sciences in the past and is, in a sense, 300 years old. I probably agree with every word of that. You said that only certain kinds of order can be understood, given that cosmology. You said the order of a Coke machine is available to us because of our causal, mechanistic view of the world. And then you brought up that the order of a Mozart symphony is not available to us. Don't you think that the activity of the French "Structuralists" is an attempt to find out the order of things as opposed to the order of mechanisms, the ontology of things as opposed to the epistemology of things, i.e., their internal structure? This kind of philosophical inquiry has been part of current French thought for the last 20 years. Don't you think that it is something like what you're talking about?

CA: I don't know the people you are talking about.

PE: I am talking about people like Roland Barthes, Michel Foucault, Jacques Derrida.

CA: What do they say?

PE: They say that there are structures, in things like a Mozart symphony or a piece of literature, and that we can get beyond the function of a symphony or the function of a piece of literature to provide a story of knowledge, that we can get beyond those functions to talk about the innate structure or order of these things. And that this order has little to do with the hierarchical, mechanistic, and deterministic order of the past 300 years. Rather it is based on an alternative to Western values as determined by metaphysics. This order suggests not so much an opposition as an alternative view, which suggests that structures are not dialectical in nature but, rather, that they are made up of differences.

I was very much in sympathy with the things you were saying in your lecture. In fact, I would like to think that for the past 10 or 15 years of my life I have been engaged in the same kind of work. My postfunctionalist essay in *Oppositions 6* proposed an other aspect of architecture outside of function.

CA: I am not sure I know what you are driving at. See if this is right? One of the people on our faculty, I think, would probably espouse your point of view in some way. His attitude reflects a whole school of thought that has developed -- crudely called Post-Modernism or whatever. Anyway, there is a school of thought, a serious group of theorists who have begun to talk about

architecture in a quite new way in the last 10 years. And this faculty member says to me, from time to time, something like this: "Essentially, Chris, they're saying exactly the same thing you are. Why are you riding your horse as though you are some lone messenger when, in fact, everybody is talking about the same thing."

But what these Postmodernists and Structuralists are saying is not the same thing as what I said last night at all. Of course, I think there are people who are very serious and want to move the many with the privileged view of architecture that they have in their heads. But words are very, very cheap. And one can participate in intellectual discussions, right, left, and center, and you can go this way or you can go that way. Now then, I look at the buildings which purport to come from a point of view similar to the one I've expressed, and the main thing I recognize is, that whatever the words are -- the intellectual argument behind that stuff -- the actual buildings are totally different. Diametrically opposed. Dealing with entirely different matters.

Actually, I don't even know what that work is dealing with, but I do know that it is not dealing with feelings. And in that sense those buildings are very similar to the alienated series of constructions that preceded them since 1930. All I see is: number one, new and very fanciful language; and two, vague references to the history of architecture but transformed into cunning feats

and quaint mannerisms. So, the games of the Structuralists, and the games of the Post Modernists are in my mind nothing but intellectualisms which have little to do with the core of architecture. This depends, as it always has, on feeling.

**PE:** Let us just back off for a minute. I wish we had some pictures here. I don't want to polarize this between the heavy, Eastern intellectual and the California joy boy. You cannot ask people, as you did last night, to believe you because you have done 25 years of intellectual work -- which I have followed very carefully and which is very intellectual -- and then say "I am California magic". So I want to get away from these kinds of caricatures because we are not going to get anywhere with them. That is number one.

Number two: for you to plead ignorance of ideas that are in current use, does not make me an intellectual and you not, or vice versa; it means that you are interested in your cosmology, and I am interested in mine. So that is a wash. I did not come here to play "do you know" and get anxious about things. I am very interested in the whole self. In the Jungian cosmology, you may be a feeling type and I may be a thinking type. And I will never be able to have the kind of feeling that you have, and vice versa. We all live with the tyranny of the opposite. So I don't want to get into that game, because you win all the time. So why not start over.

CA: Let's have a go. That was a very good first round.

PE: I want to get out of the ring and try again. I came in on the wrong side. I certainly became the lion and you the Christian, and I have always wanted to be a Christian.

CA: I appreciate the very charming way you are bringing this into a slightly nicer state. Actually, with regard to what you said a moment ago, the business of the feeling type and the thinking type does need to be talked about. I know something about Jung's classifications. That we have different make-ups is probably an undeniable fact. But, somehow, the substantive core of the matter, to me, is the essence of what the debate about architecture must lead to. If you say: "Well, look, you're a feeling type, and I'm a thinking type, so let's not discuss that because we are always going to be on different sides", then it removes from this discussion what I feel to be the absolute heart and soul of the matter when it comes to buildings. Now I don't want to deny at all what you are saying about personalities. But I really cannot conceive of a properly formed attitude towards buildings, as an artist or a builder, or in any way, if it doesn't ultimately confront the fact that buildings work in the realm of feeling. So when you say, "Look you're that type, and I'm this type, and let's agree not to talk with one another about that fact", what's the implication? Is the

implication that you think that feeling is not related to buildings? Perhaps you could answer that.

**PE:** Of course, if you are a feeling type, you *would* think that feelings are the essence of the matter; and I cannot help thinking, as a thinking type, that ideas are the essence of the matter. It is not something that I can walk away from. We all have a shadow, and my shadow is feeling. I accept that you are that way. I am asking you to accept me the way I am rather than dismissing what I say as not being at the heart of the matter. For you, feeling is the heart of the matter, because it is the only way you can configure the world. I cannot configure the way you do because then I would not be me, and you would not want me to do that.

**CA:** I'm not so sure about that.

**PE:** It is not I who is into tyranny. Let's see if we can discuss substantive issues. All I am saying is: do not put people down who cannot get at ideas through feeling. At least 50% of the people here cannot.

**CA:** You're saying to me, on the level of personal decency and person-to-person respect, let each of us recognize that we have our different attitudes towards the world, and let's not mix them up with the central, substantive matter at hand. That's what you're inviting me to do.

**PE:** That's what I was hoping.

**CA:** I will suspend that, if you can deal with that. I fully understand that what you're saying concerns you, and I'm quite comfortable with the person-to-person respect, given our different attitudes and so forth. The trouble is that we also happen to be dealing with a matter that I believe intellectually is the central issue. Intellectually, not from the point of view of feeling. It's very, very difficult for me to stay away from this issue because, if I don't talk about it with you to some extent, I will actually never know what you're really talking about. So, if you will permit me, I'd like to go into this matter and see where we come to. You see, there is a debate going on here, and there is also a disagreement -- I believe of substance. I'm not even sure whether we work in the same way. That's why I would like to check out a couple of examples, buildings. Now, I will pick a building, let's take Chartres for example. We probably don't disagree that it's a great building.

**PE:** Well, we do actually, I think it is a boring building. Chartres, for me, is one of the least interesting cathedrals. In fact, I have gone to Chartres a number of times to eat in the restaurant across the street -- had a 1934 red Mersault wine, which was exquisite -- I never went into the cathedral. The cathedral was done *en passant*. Once you've seen one Gothic cathedral, you have seen them all.

**CA:** Well, pick a building you like. Pick another.

PE: Let's pick something that we can agree on -- Palladio's Palazzo Chiericati. For me, one of the things that qualifies it in an incredible way, is precisely because it is more intellectual and less emotional. It makes me feel high in my mind, not in my gut. Things that make me feel high in my gut are very suspicious, because that is my psychological problem. So I keep it in the mind, because I'm happier with that.

You see, the Mies and Chiericati thing was far greater than Moore and Chiericati, because Moore is just a *pasticheur*. We agree on that. But Mies and Chiericati is a very interesting example, and I find much of what is in Palladio -- that is the contamination of wholeness -- also in Mies. I also find alternation, as opposed to simple repetition. And you said things which are very close to my heart. I am very interested in the arguments you presented in your lecture. You said something about the significance of spaces between elements being repeated. Not only the element itself being repeated, but the space between. I'm very interested in the space between. That is where we come together. Now the space between is not part of classical unity, wholeness, completeness; it is another typology.

It is not a typology of sameness or wholeness; it's a typology of differences. It is a typology which transgresses wholeness and contaminates it. If you say A/B A/B, that is an alternation of wholes outside of the classical canon, which tries

to take A and B and bring them into symmetry -- as in B/A/B/A/B. In other words, there are three B's with one in the center, and two A's as minor chords. When you have A/B/A/B/ you have alternating pairs with no center, closure or hierarchy. A/B/A/B/A is complete. A/B/A/B is not. What is interesting about serial structures is the spaces between, not the elements themselves, but the differences between the two. You were talking about that last night when you gave an example of something that was not dealing with wholeness at all in the classical sense. Maybe we would benefit from talking more about this. Or not?

CA: I don't fully follow what you're saying. It never occurred to me that someone could so explicitly reject the core experience of something like Chartres. It's very interesting to have this conversation. If this weren't a public situation, I'd be tempted to get into this on a psychiatric level. I'm actually quite serious about this. What I'm saying is that I understand how one could be very panicked by these kinds of feelings. Actually, it's been my impression that a large part of the history of modern architecture has been a kind of panicked withdrawal from these kinds of feelings, which have governed the formation of buildings over the last 2000 years or so.

Why that panicked withdrawal occurred, I'm still trying to find out. It's not clear to me. But I've never heard somebody say, until a few moments ago, someone say explicitly: "*Yes, I find that stuff freaky; I don't like to deal with feelings.*"

*I like to deal with ideas.*" Then, of course, what follows is very clear. You would like the Palladio building; you would not be particularly happy with Chartres, and so forth. And Mies ...

**PE:** The panicked withdrawal of the alienated self was dealt with in Modernism -- which was concerned with the alienation of the self from the collective.

**CA:** However painful it is, we are doing pretty well right now. We're not being rude to each other, and things are moving along really nicely. It does seem to me, since we have locked into this particular discussion, that we ought to stay with it.

I want to tell a story that I told this morning. About two or three years ago, I was asked by the faculty at Berkeley to show some pictures of things I had been working on, and ended up locking horns with some people who were challenging my work. I recognized that their comments were coming from a place similar to that which you were just talking about, because the things that I make come from a very vulnerable spot. What happened was, one of the people who has been most vociferous in this field, a few days later, whispering privately in a corner said: "You know, I really shouldn't have said those things to you, but I've been making plans like this myself for some time but dare not show them to anybody". And this is, I have found, in dealing with various men

in the profession over the last 10, 20, years, quite frequently you have this theme, where there's actually real fear about simple, ordinary, vulnerable stuff.

I will give you another example, a slightly absurd example. A group of students under my direction was designing houses for about a dozen people, each student doing one house. In order to speed things up (we only had a few weeks to do this project), I said: "We are going to concentrate on the layout and cooperation of these buildings, so the building system is not going to be under discussion."

So I gave them the building system, and it happened to include pitched roofs, fairly steep pitched roofs. The following week, after people had looked at the notes I handed out about the building system, somebody raised his hand and said: "Look, you know everything is going along fine, but could we discuss the roofs?" So I said: "Yes, what would you like to discuss about the roofs?" And the person said: "Could we make the roofs a little different?" I had told them to make just ordinary pitched roofs. I asked, "What's the issue about the roofs?" And the person responded: "Well, I don't know, it's just kind of funny." Then that conversation died down a bit. Five minutes later, somebody else popped up his hand and said: "Look, I feel fine about the building system, except the roofs. Could we discuss the roofs?" I said: "What's the matter with the roofs?" He said, "Well, I have been talking to my wife about the roofs, and

she likes the roofs" -- and then he sniggered. I said: "What's so funny or odd about that?" And he said: "Well, I don't know, I ... "

Well, to cut a long story short, it became clear that ... [*Alexander goes to the blackboard and draws different types of roofs*]. Now, all of you who are educated in the modernist canon know that as an architect, a respectable architect of the 1980s, it is quite okay to do this, you can do this, you can do this, you can do this, but please [*he points to a pitched roof design*] do not do this.

So, the question is, why not? Why does this taboo exist? What is this funny business about having to prove you are a modern architect and having to do something other than a pitched roof? The simplest explanation is that you have to do these others to prove your membership in the fraternity of modern architecture. You have to do something more far out, otherwise people will think you are a simpleton. But I do not think that is the whole story. I think the more crucial explanation -- very strongly related to what I was talking about last night -- is that the pitched roof contains a very, very primitive power of feeling. Not a low pitched, tract house roof, but a beautifully shaped, fully pitched roof. That kind of roof has a very primitive essence as a shape, which reaches into a very vulnerable part of you. But the version that is okay among the architectural fraternity is the one which does not have the feeling: the weird angle, the butterfly, the asymmetrically steep shed, etc. -- all the shapes

which look interesting but which lack feeling altogether. The roof issue is a simple example. But I do believe the history of architecture in the last few decades has been one of specifically and repeatedly trying to avoid any primitive feeling whatsoever. Why this has taken place, I don't know.

**PE:** This is a wonderful coincidence, because I too am concerned with the subject of roofs. Let me answer it in a very deep way. I would argue that the pitched roof is -- as Gaston Bachelard points out -- one of the essential characteristics of "houseness". It was the extension of the vertebrate structure which sheltered and enclosed man. Michel Foucault has said that when man began to study man in the 19th century, there was a displacement of man from the center. The representation of the fact that man was no longer the center of the world, no longer the arbiter, and, therefore, no longer controlling artifacts, was reflected in a change from the vertebrate-center type of structure to the center-as-void. That distance, which you call alienation or lack of feeling, may have been merely a natural product of this new cosmology.

The non-vertebrate structure is an attempt to express that change in the cosmology. It is not merely a stylistic issue, or one that goes against feeling, or the alienation that man feels. When man began to study himself, he began to lose his position in the center. The loss of center is expressed by that alienation. Whether understood by modern architecture or not, what

Modernism was attempting to explain by its form was that alienation. Now that technology has gone rampant, maybe we need to rethink the cosmology. Can we go back to a cosmology of anthropocentrism? I am not convinced that it is appropriate.

**CA:** Let me just inject one thing. This is a pretty interesting subject. I just want to make one thing clear. I am not suggesting that it would be good idea to romantically go back and pick up the pitched roof, and say: "Well, it did a certain job for several hundred years, why don't we keep it, or use it again?" I am talking about a totally different language than that.

I think I am going to have to give a rather more elaborate explanation Up until about 1600, most of the world views that existed in different cultures did see man and the universe as more or less intertwined and inseparable ... either through the medium of what they called God or in some other way. But all that was understood. The particular intellectual game that led us to discover all the wonders of science forced us to abandon temporarily that idea. In other words, in order to do physics, to do biology, we were actually taught to pretend that things were like little machines because only then could you tinker with them and find out what makes them tick. That's all fine. It was a tremendous endeavour, and it paid off.

But it may have been factually wrong. That is, the constitution of the universe may be such that the human self and the substance that things are made out of, the spatial matter or whatever you call it, are much more inextricably related than we realized. Now, I am not talking about some kind of aboriginal primitivism. I am saying that it may actually be a matter of fact that those things are more related than we realize. And that we have been trained to play a trick on ourselves for the last 300 years in order to discover certain things. Now, if that's true -- there are plenty of people in the world who are beginning to say it is, by the way, certainly in physics and other related subjects -- then my own contribution to that line of thought has to do with these structures of sameness that I have been talking about.

In other words, the order I was sketching out last night is ultimately, fundamentally an order produced by centers or wholes which are reinforcing each other and creating each other. Now, if all of that is so, then the pitched roof would simply come about as a consequence of all that -- not as an antecedent. It would turn out that, in circumstances where one is putting a roof on a building, in the absence of other very strong forces that are forcing you to do something different, that is the most natural and simple roof to do. And, therefore, that kind of order would tend to reappear -- of course, in a completely different, modern technological style -- simply because that is the

nature of order, not because of a romantic harkening back to past years. You probably understand this.

**PE:** What we have not been able to get at yet is that it is possible to project a totally different cosmology that deals with the feelings of the self. Alternative views of the world might suggest that it is not wholeness that will evoke our truest feelings and that it is precisely the wholeness of the anthropocentric world that it might be the presence of absence, that is, the nonwhole, the fragment which might produce a condition that would more closely approximate our innate feelings today.

Let me be more specific. Last night, you gave two examples of structural relationships that evoke feelings of wholeness -- of an arcade around a court, which was too large, and of a window frame which is also too large. Le Corbusier once defined architecture as having to do with a window which is either too large or too small, but never the right size. Once it was the right size it was no longer functioning. When it is the right size, that building is merely a building. The only way in the presence of architecture that is that feeling, that need for something other, when the window was either too large or too small.

I was reminded of this when I went to Spain this summer to see the town hall at Logrono by Rafael Moneo. He made an arcade where the columns were too thin. It was profoundly disturbing to me when I first saw photographs of the

building. The columns seemed too thin for an arcade around the court of a public space. And then, when I went to see the building, I realized what he was doing. He was taking away from something that was too large, achieving an effect that expresses the separation and fragility that man feels today in relationship to the technological scale of life, to machines, and the car-dominated environment we live in. I had a feeling with that attenuated colonnade of precisely what I think you are talking about. Now, I am curious if you can admit, in your idea of wholeness, the idea of separation -- wholeness for you might be separation for me. The idea that the too-small might also satisfy a feeling as well as the too-large. Because if it is only the too-large that you will admit, then we have a real problem.

CA: I didn't say too large, by the way, I just said large. Quite a different matter.

PE: You said a boundary larger than the entity it surrounds. I think you said too large.

CA: I said large in relation to the entity. Not too large.

PE: Large, meaning larger than it needs be?

CA: No, I didn't mean that.

PE: Well, could it be smaller than it needs be?

CA: Unfortunately, I don't know the building you just described. Your description sounds horrendous to me. Of course, without actually seeing it, I can't tell. But if your words convey anything like what the thing is actually like, then it sounds to me that this is exactly this kind of prickly, weird place, that for some reason some group of people have chosen to go to nowadays. Now, why are they going there? Don't ask me.

PE: I guess what I am saying is that I believe that there is an alternate cosmology to the one which you suggest. The cosmology of the last 300 years has changed and there is now the potential for expressing those feelings that you speak of in other ways than through largeness -- your boundaries -- and the alternating repetition of architectural elements. You had 12 or 15 points. Precisely because I believe that the old cosmology is no longer an effective basis on which to build, I begin to want to invert your conditions -- to search for their negative -- to say that for every positive condition you suggest, if you could propose a negative you might more closely approximate the cosmology of today. In other words, if I could find the negative of your 12 points, we would come closer to approximating a cosmology that would deal with both of us than does the one you are proposing.

CA : Can we just go back to the arcade for a moment? The reason Moneo's arcade sounded prickly and strange was, when I make an arcade I have a very

simple purpose, and that is to try to make it feel absolutely comfortable -- physically, emotionally, practically, and absolutely. This is pretty hard to do. Much, much harder to do than most of the present generation of architects will admit to. Let's just talk about the simple matter of making an arcade. I find in my own practical work that in order to find out what's really comfortable, it is necessary to mock up the design at full scale. This is what I normally do. So I will take pieces of lumber, scrap material, and I'll start mocking up. How big are the columns? What is the space between them? At what height is the ceiling above? How wide is the thing? When you actually get all those elements correct, at a certain point you begin to feel that they are in harmony.

Of course, harmony is a product not only of yourself, but of the surroundings. In other words, what is harmonious in one place will not be in another. So, it is very, very much a question of what application creates harmony in that place. It is a simple objective matter. At least my experience tells me, that when a group of different people set out to try and find out what is harmonious, what feels most comfortable in such and such a situation, their opinions about it will tend to converge, if they are mocking up full-scale, real stuff. Of course, if they're making sketches or throwing out ideas, they won't agree. But if you start making the real thing, one tends to reach agreement. My only concern is

to produce that kind of harmony. The things that I was talking about last night -- I was doing empirical observation about -- as a matter of fact, it turns out that these certain structures need to be in there to produce that harmony.

The thing that strikes me about your friend's building -- if I understood you correctly -- is that somehow in some intentional way it is not harmonious. That is, Moneo intentionally wants to produce an effect of disharmony. Maybe even of incongruity.

**PE:** That is correct.

**CA:** I find that incomprehensible. I find it very irresponsible. I find it nutty. I feel sorry for the man. I also feel incredibly angry because he is fucking up the world.

**Audience:** (Applause)

**PE:** Precisely the reaction that you elicited from the group. That is, they feel comfortable clapping. The need to clap worries me because it means that mass psychology is taking over.

**Someone from the audience:** Why should architects feel comfortable with a cosmology you are not even sure exists?

**PE:** Let's say if I went out in certain places in the United States and asked people about the music they would feel comfortable with, a lot of people would come up with Mantovani. And I'm not convinced that that is something I should have to live with all my life, just because the majority of people feel comfortable with it. I want to go back to the notion of needing to feel comfortable. Why does Chris need to feel comfortable, and I do not? Why does he feel the need for harmony, and I do not? Why does he see incongruity as irresponsible, and why does he get angry? I do not get angry when he feels the need for harmony. I just feel I have a different view of it.

**Someone from the audience:** He is not screwing up the world.

**PE:** I would like to suggest that if I were not here agitating nobody would know what Chris's idea of harmony is, and you all would not realize how much you agree with him ... Walter Benjamin talks about "the destructive character", which, he says, is reliability itself, because it is always constant. If you repress the destructive nature, it is going to come out in some way. If you are only searching for harmony, the disharmonies and incongruencies which define harmony and make it understandable will never be seen. A world of total harmony is no harmony at all. Because I exist, you can go along and understand your need for harmony, but do not say that I am being irresponsible or make a moral judgement that I am screwing up the world,

because I would not want to have to defend myself as a moral imperative for you.

**CA:** Good God!

**PE:** Nor should you feel angry. I think you should just feel this harmony is something that the majority of the people need and want. But equally there must be people out there like myself who feel the need for incongruity, disharmony, etc.

**CA:** If you were an unimportant person, I would feel quite comfortable letting you go your own way. But the fact is that people who believe as you do are really fucking up the whole profession of architecture right now by propagating these beliefs. Excuse me, I'm sorry, but I feel very, very strongly about this. It's all very well to say: "Look, harmony here, disharmony there, harmony here -- it's all fine". But the fact is that we as architects are entrusted with the creation of that harmony in the world. And if a group of very powerful people, yourself and others ...

**PE:** How does someone become so powerful if he is screwing up the world? I mean somebody is going to see through that ...

**CA:** Yes, I think they will quite soon.

**PE:** I would hope, Chris, that we are here to present arguments. These people here are not people who have rings in their noses, at least as far as I can see, and they can judge for themselves whether I am screwing up the world or not. If they choose to think I am screwing up the world, they certainly would not come here. These are open forums. For you to determine arbitrarily that I am screwing up the world seems self-righteous and arrogant. I have not had much of a chance to do so and neither have you. Precisely because I am uncomfortable with those situations which you describe as comfortable, I find myself having to live in New York. I do not live in San Francisco, even though I think it is a nice place. There is not enough grist there for me, not enough sand in the oyster. And my head starts -- it may be my own psychological problem -- but thank God, there is a loony bin called New York where eight million people who feel the way I do are allowed to be!

**CA:** Actually, New York is not created by that kind of madness. New York is certainly a very exciting place. When you compare it to Denmark or Sweden, I fully understand what you are saying. And I sympathize with you. Your observation seems to me a very reasonable one, objectively speaking. But that is quite a different matter. It's quite different from the original question: why should I feel so strongly, why should I get angry, because you are preaching disharmony? I was trying to explain to you why I get angry about it.

**PE:** I am not preaching disharmony. I am suggesting that disharmony might be part of the cosmology that we exist in. I am not saying right or wrong. My children live with an unconscious fear that they may not live out their natural lives. I am not saying that fear is good. I am trying to find a way to deal with that anxiety. An architecture that puts its head in the sand and goes back to neoclassicism, and Schinkel, Lutyens, and Ledoux, does not seem to be a way of dealing with the present anxiety. Most of what my colleagues are doing today does not seem to be the way to go. Equally, I do not believe that the way to go, as you suggest, is to put up structures to make people feel comfortable, to preclude that anxiety. What is a person to do if he cannot react against anxiety or see it pictured in his life? After all, that is what all those evil *Struwwel Peter* characters are for in German fairy tales.

**CA:** Don't you think there is enough anxiety at present? Do you really think we need to manufacture more anxiety in the form of buildings?

**PE:** Let me see if I can get it to you another way. Tolstoy wrote about the man who had so many modern conveniences in Russia that when he was adjusting the chair and the furniture, etc., that he was so comfortable and so nice and so pleasant that he didn't know -- he lost all control of his physical and mental reality. There was nothing. What I'm suggesting is that if we make people so comfortable in these nice little structures of yours, that we might lull them

into thinking that everything's all right, Jack, which it isn't. And so the role of art or architecture might be just to remind people that everything wasn't all right. And I'm not convinced, by the way, that it is all right.

CA: I can't, as a maker of things, I just can't understand it. I do not have a concept of things in which I can even talk about making something in the frame of mind you are describing. I mean, to take a simple example, when I make a table I say to myself: "All right, I'm going to make a table, and I'm going to try to make a good table". And of course, then from there on I go to the ultimate resources I have and what I know, how well I can make it. But for me to then introduce some kind of little edge, which starts trying to be a literary comment, and then somehow the table is supposed to be at the same time a good table, but it also is supposed to be I don't know what; a comment on nuclear warfare, making a little joke, doing various other things ... I'm practically naive; it doesn't make sense to me.

*[http://www.katarxis3.com/Alexander\\_Eisenman\\_Debate.htm#The%20Debate](http://www.katarxis3.com/Alexander_Eisenman_Debate.htm#The%20Debate)*

## BIBLIOGRAFÍA

**ADAMS David.** *Rudolf Steiner's First Goetheanum as an Illustration of Organic Functionalism, JSAH, 1992*

**ALBERTI, Leon Battista.** “*Los diez libros*”: imprenta, Joseph Franganillo, Madrid, 1797.

**ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh.** “*Zoomorphic NEW ANIMAL ARCHITECTURE*”, London Lawrence King, 2003.

**ALEXANDER Christopher.** (2001-2005). “*The Nature of Order, Books 1-4, Center for Environmental Structure, Berkeley, California. Book 1: The Phenomenon of Life, 2001; Book 2: The Process of Creating Life, 2002; Book 3: A Vision of a Living World, 2005; Book 4: The Luminous Ground, 2004. [“Making wholeness heals the maker is discussed in Book 4, The Luminous Ground, pages 262-270.]”*

**ARCHITOPIA.** *Book/Catalogue, Utopia Bienal, Cascais, Portugal, 2001.*

**ARINYO, Robert Joan, SOTO, Antoni and VILA Sebastiá.** “*Geometric Constraint Solving*”. Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. N° 20, 2003.

**ARISTOTLE.** *The "Art" of Rhetoric*, Trans, John Henry Freese, Cambridge, Mass. London, 1994.

**BALTRUSAITIS, Jurgis.** “*Anamorfosis o Thaumaturgus opticus*”, Milano Adelphi, 1990

**BIGAS VIDAL, Montserrat.** Enric Miralles. Procesos metodológicos en la construcción del proyecto arquitectónico. Tesis Doctoral, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Barcelona, 2005.

**BLECUA, José Manuel.** “*Diccionario avanzado de sinónimos y antónimos de la lengua española*” Barcelona Bibliograf 2000.

**BRAVO FARRÉ, Luis.** Dibujo, aprendizaje y Arquitectura Moderna. Tesis doctoral. UPC. ETSAV, 1986.

**BRAVO FARRÉ, Luis.** Proyecto docente 1998-1999. Programación EGA-1 ETSAV, 1998.

**BUCKMINSTER FULLER, Richard and W. MARKS, Robert.** *“The Dymaxion World of Buckminster Fuller”*, New York: Anchor Books, 1973

**BURRY, Mark:** *“Computer Aided Architectural Design using Parametric Variation and Associative Geometry Article.*

**BURRY, Mark:** (ed.) *Cyberspace: The World of Digital Architecture.* Australia: Images Publishing Group, 2001

**CACHE, Bernard:** *“Earth Moves, the Furnishing of Territories”*, the MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1995.

**CANDELA Félix.** *“En defensa del formalismo y otros escritos.”* Xarait ediciones, Bilbao, 1985.

**CHRISTOPHER, Alexander.** *“Tres Aspectos de matemática y Diseño”*, Barcelona Tusquets DL, 1969.

**CHERFAS, Jeremy.** *“Introducción a la Ingeniería Genética”*, Alianza Universidad, 1982.

**CHOMSKY, Noam.** *“Ensayo sobre forma e Interpretación”*, Traducción de Pilar Calvo y José Antonio Millán, Madrid Cátedra, 1982.

**CHU Karl S.** *“Genetic Space. Hourglass of the Demiurge”* © Karl S.Chu / X , Kavya Los Angeles, 1998.

<http://cumincad.scix.net/data/works/at/ad5b.content.pdf>

**CHU Karl S.** *“Metaphysics of Genetic Architecture and Computation.* Architectural Design, 2006.

**COATES, P., HEALY, N., LAMB, C. and VOON, W.** *“The Use of Cellular Automata to Explore Bottom-up Architectonic Rules”*, presented at Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference held at Imperial College London, UK. 1996.

**COLLECTION DU FRAC CENTRE.** *Architectures Experimentales 1950 – 2000*, HYX, 2003

**CUVIER, George.** *Fossil Bones and Geological Catastrophes*”, Martin J. S. Rudwick, the University of Chicago Press, Chicago, 1997.

**CUVIER, George.** *“Discurs sobre els cataclismes del globus terraquí i sobre els canvis que han produït en el regne animal Georges Cuvier”*, Barcelona Institut d'Estudis Catalans Eumo Pòrtic D.L. 2002.

**DARWIN, Charles.** *“On the Origin of Species by means of Natural Selection”* Bantam Classics Editions 1999.

**DAWKINS, Richard.** *“The extended Phenotype: The gene as the unit of selection Oxford”*: Oxford University Press, 1982.

**DAWKINS, Richard.** *“The Blind Watchmaker”*. New York: W. W. Norton & Company. 1986

**DELEUZE Gilles,** *“Foucault”*. Minneapolis: University of Minneapolis press, 1988.

**DELEUZE, G.** *“El Pliegue”*, Traducción de José Vásquez y Umbelina Larraceleta. Barcelona (etc.), Paidós 1989.

**DELEUZE, Gilles. y GUATARI Feliz.** *Rizoma.* Ed. Pre-textos. Valencia, 2003

**DI CRISTINA, Giuseppa.** *“Architecture and Science”*, Wiley-Academy. 2004.

**DIETTE, G.B, et all.**, “*Distraction therapy with nature sights and sounds reduces pain during flexible bronchoscopy: A complementary approach to routine analgesia*”. Chest, 123, 941-948. 2003

**DOLLENS, Dennis.** “*Digital to Analog*”, SITESS Books 2001.

**DOLLENS, Dennis, Estevez Alberto, Alfons Puigarnau, Ignasi Perez Arnal, Dennis Dollens, Alfonso Perez-Mendez, Joaquim Ruiz Millet & Ana Planella.** “*Genetic Architectures*”, SITES Books & ESARQ UIC, 2003.

**DOUDAY, S., and Y. COUDER.** *Phyllotaxis as a dynamical self-Organisation Process. Journal of theoretical biology* 178, n° 3. 1996.

**FLEMMING U.** “*The secret of the Casa Guiliani Frigerio*” Environment and Planning B 8 87-96. 1981.

**ELIADE, M.** “*Symbolism, the Sacred and the Arts*”. New York: The Crossroad Publishing Company. 1985.

**FOGEL,LJ, OWENS AJ and Walsh MJ.** “*Artificial Intelligence through Simulated Evolution. Wiley; New York, 1966.*”

**FRAZER, John.** “*An Evolutionary Architecture*”, London: Architectural Association, 1995.

**FRAZER, John et al.** “*The Interactivator in Architects in Cyberspace*”, Special Issue, Architectural Design 65, nos. 11-12 (1995).

**FROEBEL F.** “*Froebel’s Chief Writings on Education (Rendered into English) S. S. F. Fletcher and J. Welton (trans). London: Edward Arnold. (c1826, trans. 1912).*”

**GALISON, Peter y THOMPSON Emily.** “*The architecture Of Science*”, Cambridge, MA London the MIT Press cop. 1999.

**GANS, Deborah and GUZ Zehra.** *“The Organic Approach to Architecture”*, Wiley-Academy. 2003.

**GAROFALO Luca,** *“Digital Eisenman: An office of the Electronic era”*. Basel Birkhauser publishers for architecture, 1999

**GERARDIN, Lucien.** *“La Biónica, Biblioteca para el Hombre actual”*, Ediciones Guadarrama, S. A. 1968.

**GERO, J. S. and KAZAKOV, V. A.** *“Evolving design genes in space layout planning problems”*. (submitted to *Artificial Intelligence in Engineering*). 1996a.

**GUIHEUX, Alain.** *Kisho Kurokawa Architecte le Metabolisme 1960 – 1975*, Paris Centre Pompidou 1997.

**GOLDBERGER, A.L.** *“Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biologic basis of creativity”*. *Molecular Psychiatry*, 1, 99-104. 1996.

**GOODMAN, Nelson.** *“Maneras de hacer mundos”*, Visor Distribuciones 1990.

**GORDILLO, G.** *“Nazi Architecture as Affective Weapon”*. *The Funambulist Papers*, 2. URL: <http://thefunambulist.net/2014/02/02/the-funambulist-papers-47-nazi-architecture-as-affective-weapon-by-gaston-gordillo/> 2014

**HAECKEL, Ernst.** *“Art Forms in Nature”*, New York: Dover 1974.

**HANSLI, Thomas.** *“Parrhasius’s curtain: Visual Simulatio’s Mimesis and mediality.”* En “Simulation. Presentation Thechnique and cognitive Method. Birkhauser, Verlag AG. Basel, 2008.

**HEMBERG Martin.** *“Genr8 - a design tool for surfaces. Master's thesis”*, Chalmers University Of Technology (2001).

**HERR Christiane KVAN M. Thomas.** *“Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form”* Computer Aided Architectural Design Futures. pp 249-258. 2005.

**HEMBERG Martin, O'RELLY, MENGES, JONAS, DA COSTA y FUCHS.** *Genr8: Architects' Experience with an Emergent Design Tool.* In book “The Art of Artificial Evolution” (pp.167-188). 2008.

**HERSEY, George.** *“The Monumental Impulse Architecture's Biological Roots”*, The MIT Press 2001, Cambridge, Massachusetts, London, England.

**HERZBERGER, Barbara, EPSTEIN, David.** eds., *“Beauty an the brain: Biological aspects of aesthetics”*, In Ingo Rentscher, *Boston Birkhäuser Verlag, 1989.*

**HOLLAND J.H.** *“Adaptation in natural and artificial systems”*. The University of Michigan Press, Ann Arbor. 1975.

**HOLLAND J.H.** *“Adaptation in Natural and Artificial Systems, 2nd edn”*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1992.

**HVATTUM, Mari.** *“Gottfried Semper and the Problem of Historicism”*, Cambridge University Press, 2004.

**IMPERIALE, A.** *“New Flatness: Surface Tension in Architecture”*. Switzerland: Birkhäuser Verlag AG, 2000.

**JACOB, François.** *“La lógica de lo viviente, Una historia de la herencia”*, Tusquets Editores S.A. 1999.

**JAY GOULD, Stephen.** *“Leonardo's Living Earth.”* *Natural History*; May 1997.

**JAY GOULD, Stephen. WOLFF PURCELL Rosamond.** *“Crossing over where art and science meet”*, Bargain Books, 2001.

**JENCKS, Charles.** *“Architecture 2000 predictions and methods, new concepts of architecture”*, Studio visa London 1971.

**KANT, Immanuel.** *“Critica de la Razón pura Estética Trascendental y analítica trascendental”*, Buenos Aires Losada 1957.

**KAPLAN S.** *“The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework”*  
Journal of Environmental Psychology Volume 15, Issue 3, September 1995,  
Pag. 169-182.

**KELLERT S. R. & WILSON, E. O.** Editors, *“The Biophilia Hypothesis”*.  
Washington, DC: Island Press, 1993.

**KEMP, Martin.** *“The Science of Art Optical Themes in Western art from Brunelleschi to Seurat Martin Kemp.”*, New Haven (etc.) Yale University Press 1990.

**KIESLESR, Friedrich.** *Friedrich Kiesler: Endless House 1947-1961”*, Ostfildern Hatje Cantz 2003.

**KOLAREVIC, Branko.** *“Architecture in the Digital Age”*, New York London Spon Press, 2003.

**KOLAREVIC, Branko and MALKAWI Ali Eds.** *“Performative Architecture: Beyond Instrumentality”*, New York: Spon Press, 2005.

**KOZA, J. R.** *“Genetic Programming. On the Programming of Computers by Means of Natural Selection”*, Bradford Book, MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1992.

**KUROKAWA, Kisho.** *“The architecture of Metabolism”*, Studio Vista London, 1977.

**KUROKAWA, Kisho.** *“From Metabolism to Symbiosis”*, London Academy Edition, New York St Martin’s Press 1992.

**LEACH, Neil and TURNBULL, Williams, CHRIS, David.** “*Digital Tectonics*”, Wiley Academy, 2005.

**LEWIN, Benjamin.** “*gene Expression, Vol 1, 2 Eucaryotic Chromosomes*”, Chichester (England) John Wiley & Son (1974).

**LEWIN, Benjamin.** “*gene Expression, Vol 3 Plasmid and Pages*”, London (etc.) Wiley Cop (1977).

**LEWIN, Benjamin.** “*gene IV*”, Oxford (etc.) Oxford University Press 1990

**LIMA-DE-FARIA, A.** “*Evolution without selection: Form and function by autoevolution:*” by Elsevier, 1988. *Trends in Ecology & Evolution, Volume 4, Issue 5, May 1989.*

**LINDENMAYER, A.** “*An introduction to parallel map generating systems*”. En: Ehrig, H., et al.: *Graph Grammar and their application to Computer Science.* Berlin, Springer-Verlag. 1988.

**LOHR, V.I. & PEARSON-MIMS, C.H.** “*Physical discomfort may be reduced in the presence of interior plants*”. *HortTechnology*, 10, 53-58. 2000.

**LOVELOCK J., BATESON G., MARGULIS, L. ATLAN, H VARELA F, MATURANA H.** y otros. “*Gaia*”, Editorial Cairos, 1989.

**LYNN, Greg.** “*Folds, Bodies & Globes Collected Essays*”, Bruxelles La Lettre Volée, 1998.

**MAKI, Fumihiko.** “*Notes on collective Form*”, Tokyo Shinken-chiku-sha, 1994.

**MALLGRAVE, Harry Francis.** “*Gottfried Semper: Architect of the Nineteenth Century*”, Haven: Yale University Press, 1996.

**MARK, Robert.** “*Architecture and evolution*”, *American scientist*, July-august 1996, 383ff.

**MASSAD, Fredy + GUERRERO Yeste, Alicia** Ed. *“Arquitecturanimaciòn”*, 2002

**MATTER, VERB.** Actar 2004.

**MAUBANT, Jean Louis and MOURA, Leonel.** *ARCHITOPIA, Art, Architecture and Science*, Book/Catalogue Utopia Biennial, Cascais 2001 Portugal.

**DAVIES, Merfyn.** *“The embodiment of the concept of organic expression: Frank Lloyd Wright, Architectural History 25, 1982*

**MENNAN, Z.** *“Non Standardization Through Non-Visualization: Scripting the Domino House, The Architecture Co-Laboratory: GameSetandMatch II*, International Conference On Computer Games, Advanced Geometries and Digital Technologies, Delft University of Technology, Faculty of Architecture, The Netherlands. 2006.

**MILLÁN, A. MARTÍNEZ, A. MONTESINOS, J. CARRASCO.** *“De Arquitecturas e Ingenios. Representaciones Cambiantes en Arquitectura”*, EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica.

**MITCHELL, Melanie.** *“An introduction to Genetic Algorithms”*, MIT Press, 1996.

**MITCHELL, William J.** *“Roll over Euclid: how Frank Gehry Designs and Builds”*, in Fiona Ragheb, ed., *Frank Gehry Architect* (New York: the Solomon R. Guggenheim Foundation, 2001), pp. 352-363. Quoted from p. 354

**MITCHELL, William J.** *“E-topia”*, Editorial Gustavo Gili S.A. 2000.

**MUMFORD, Mark.** *“Form Follows Nature: The origins of American Organic Architecture, JAE. 1989*

**NOVAK, M.** *“Liquid Architecture in Cyberspace”* in: Packer, R., and Jordan, K. (eds.), 1991. *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality*. USA: W.W. Norton, 2001.

**OOSTERHUIS, Kas.** *“E-motive Architecture”*, 010 Publishers, Rotterdam 2002.

**OOSTERHUIS, Kas.** *Hyperbodies, Towards an E-motive rchitecture. En The revolution in Architecture.* Series edited by Antonino Saggio. Birkhauser, 2003.

**OOSTERHUIS, Kas.** “*BCN SPEED AND FRICTION The Catalunya Circuit*”, SITES Books / ESARQ UIC, 2004

**PADOVAN, Richard.** “*Proportion: Science, Philosophy, Architecture*”, Spon Press, 2001.

**PALLADIO, Andrea.** *Quatro libri dell'architettura.* Ulrico Hoepli Editore s.p.a. Milano, 1976.

**PALUMBO, M.** “*New Wombs: Electronic Bodies and Architectural Disorder*”. Switzerland: Birkhäuser Verlag AG, 2000.

**PARK, S.-H., et al.** “*Pain tolerance effects of ornamental plants in a simulated hospital patient room*”. *Acta Horticulturae*, 639, 241-247. 2004.

**PARSONS, R.** “The potential influences of environmental perception on human health”. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 1-23. 1991.

**PIRENNE, M. H.** “*Óptica, Perspectiva, Visión en la pintura, arquitectura y fotografía*”, Buenos Aires Víctor Leru, 1974.

**PERÉZ-GOMÉZ, Alberto.** “*Architecture and the crisis of Modern Science*”, The MIT Press Cambridge Massachusetts, 1997.

**PUEBLA PONS, Joan.** “*Neovanguardias y Representación Arquitectónica, la Expresión Innovadora del Proyecto Contemporáneo*”, Barcelona EDICIONS UPC, 2002.

**PUGLISI, L.** “*Hyper architecture: Space in the Electronic Age (IT Revolution in Architecture)*”. Switzerland: Birkhäuser Verlag AG, 1999.

**PLATÓN.** El Fedro, “*Platón obras completas, edición de Patricio de Azcárate, tomo 2*”, Madrid, 1871.

**RAMIREZ, Juan Antonio.** “*The Beehive Metaphor from Gaudi to Le Corbusier*”, Reaktion Books, 2000.

**RAHIM, Ali.** “*Contemporary techniques in Architecture*”, Wiley Academy Architectural Design Vol 72, N° 1 January 2002.

**RECHENBERG I.** “*Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Dr.-Ing. Thesis*”, Technical University of Berlin, Department of Process Engineering. 1971.

**RECHENBERG I.** “*Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*”. Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart, 1973.

**RECHENBERG I,** “*Evolutionsstrategie’94*”. Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart, 1994.

**RODRIGUEZ, Glendali.** “*Special Topics in Architectural History and Theory an Introduction to Modern Architecture and the Modern City*”, Paris Pre-Modern/ Transitional Buildings, January 26, 2000.

**ROSA, Joseph THAMES & Hudson.** “*Next Generation Architecture, Contemporary Experimentation + the radical Avant – Garde*”, 2003.

**SALINGAROS Nikos A.** “*The Sensory Value of Ornament*”, *Communication & Cognition*, 36, No. 3-4: 331-351. Revised version is Chapter 4 of *A Theory of Architecture* (2006). 2003

**SALINGAROS Nikos A.** “*Twelve Lectures on Architecture: Algorithmic Sustainable Design*”. Umbau Verlag, 2010.

**SALINGAROS Nikos A.** “*Neuroscience, the Natural Environment, and Building Design*”. Chapter 5 of: *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*, edited by Stephen R. Kellert, Judith Heerwagen, and Martin Mador (John Wiley; New York, 2008), pages 59-83. 2008.

**SALINGAROS Nikos A.** “*Making Wholeness Heals the Maker: Why Human Flourishing Requires the Creative Act*”, Crisis Magazine, 17 September 2012.

Available from: <<http://www.crisismagazine.com/2012/making-wholeness-heals-the-maker-why-human-flourishing-requires-the-creative-act>>

**SALINGAROS Nikos A.** “*Biophilia, healing environments. Healthy principles for designing the built world*”. Terrapin, Bright Green, 2015.

**SCHWEFEL H-P.** “*Evolutionsstrategie und numerische Optimierung. Dissertation*”, TUBerlin, Germany, 1975.

**SCHWEFEL H-P.** “*Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie, Interdisciplinary systems research*”; 26. Birkhäuser, Basel, 1977.

**SEMPER, Gottfried.** “*The four Elements of Architecture and other writings*”, Cambridge University Press 1989.

**SENOSIAIN AGUILAR, Javier.** “*Bio Arquitectura*”, Oxford Architectural Press, 2003.

**STAFFORD, Barbara.** “*Body Criticism “Imaging the Unseen in Enlightenment Art and Medicine”* The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1991.

**STEADMAN, Philip.** “*Arquitectura y Naturaleza, las Analogías Biológicas en el Diseño*”, H. M. Blume Ediciones, 1982.

**STEADMAN, Philip.** *Architectural morphology: an introduction to the geometry of building plans.* Pion Limited, 1983.

**STERNBERG Esther M.** *“Healing Spaces: The Science of Place and Well-Being”.* Belknap Press of Harvard University Press, 2009.

**STERNBERG Esther M.** *“Neuroscience and Architecture: Seeking Common Ground”* PubMed. 2006

**STINY George and GIPS James.** *“The grammar of paradise: On the generation of Mughul gardens”* Environment and Planning B Planning and Design 7(2):209-226. .1980

**STINY George and MITCHELL W J.** *“The Palladian grammar”* Environment and Planning B; 1978, volume 5, pages 5-18. 1978.

**TAPIA M,** *“A Visual Implementation of a Shape Grammar System”* Environment and Planning B, Urban analítica Sciences. 1999.

**TAYLOR, R.P., et al.** *“Perceptual and Physiological Responses to the Visual Complexity of Fractal Patterns”.* Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences, Vol. 9, No. 1, January, 2005. © 2005 Society for Chaos Theory in Psychology & Life Sciences.

**TAYLOR, R.P.** *“Reduction of Physiological Stress Using Fractal Art and Architecture”.* Leonardo, 39, 245-251. 2006.

**THOMPSON, D’Arcy.** *“On Growth on Form”*, Cambridge the University Press, 1969.

**TSUI, Eugene.** *“Evolutionary Architecture, Nature as a Basis for Design”*, 1999.

**TURNER Alasdair.** “*Encoding natural movement as an agent-based system: An investigation into human pedestrian behaviour in the built environment*”. *Environment and Planning B Planning and Design* 29(4):473-490. 2002.

**TURNER Alasdair.** “*An ecomorphic theatre as a case study for embodied design*”. Paper at Generative art conferences 2006.

**ULRICH, R. S.** “*View through a window may influence recovery from surgery*”. *Science*, 224, 420- 421. 1984.

**ULRICH, R.S., et al.** “*Stress recovery during exposure to natural and urban environments*”. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 201- 230. 1991.

**VAN ECK, Caroline.** “*Organicism in nineteenth century Architecture, “An inquiry into its theoretical and philosophical background”*”, *Architectura and Natura Press*, 1994.

**VILLANUEVA BATRINA, Luis.** “*Historia de la representación Arquitectonica I Desde los Origenes hasta el Barroco*”, Departament d’Expressió Gráfica Arquitectónica I, Escola Técnica Superior d’Arquitectura de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 1999.

**ViLLARI RIZZOLI, Sergio.** “*J. N. L. Durand (1760 – 1843). Art and Science of Architecture*”, 1990.

**VITRUVIO POLIÓN, Marco.** “*Los diez libros de Arquitectura*”. Con prólogo de D. Rodríguez, "Vitruvio y la piel del clasicismo", pp. 11-51. Madrid: Editorial Alianza. 2009.

**VITRUVIO POLIÓN M.** *Los diez libros De Architectura*, Traducidos del latin y comentados por Don Joseph Ortíz y Sans. Madrid 1787.

**VON NEUMANN J.** *The general and logical theory of automata. In J. von Neumann. “Collected works”* (editor A. H. Taub), Volume 5, 288. 1966.

**WATANABE, M.S.** *“Induction Design: A Method for Evolutionary Design”*, Birkhauser, Basel. 2002.

**WATSON, James D.** *“The Double Helix: A Personal Account of the Structure of DNA”*, New York, Atheneum, 1968.

**WHALL, A.L. et al,** *“The effect of natural environments upon agitation and aggression in late stage dementia patients”*. American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias, 12, 216-220. 1997.

**WOLFRAM, Stephen.** *“Cellular Automata and Complexity, Collected Papers”*, Reading, MA (etc.) Addison Wesley cop, 1994.

**WRIGHT, Frank Lloyd.** *“An Organic Architecture, the Architecture of Democracy (1939)”*, Cambridge Massachuset 1970.

**ZAJONC, R. B.** *“Feeling and thinking: preferences need no inferences”*. American Psychologist, 35, 151-175. 1980.

**ZELLNER, P.** *“Hybrid Space”*. London: Thames and Hudson, 1999.

**ZEVI, Bruno.** *“Towards an Organic Architecture”*, London 1951.

**ZEVI, Bruno.** *“Frank Lloyd Wright”*, Editorial Gustavo Gili S.A. 1985.

## REVISTAS

**ARCHITECTURAL DESIGN.** *New Science = New Architecture*”, 1997

**ARCHITECTURAL DESIGN.** *Hypersufase Architecture I*, 1998

**ARCHITECTURAL DESIGN.** *“hypersufase Architecture II”*, 1999

**EL CROQUIS n° 72.** Enric Miralles. El Croquis editorial Madrid, 1995

**EL CROQUIS n° 100/101.** Enric Miralles Benedetta Tagliabue 1996/2000. El Croquis Editorial Madrid, 2000.

**EXPERIMENTA.** *Arquitectura Digital*, N° 45, 2004.

**EXPERIMENTA.** *“Biónica Naturaleza como Modelo, Naturaleza como Sistema”*, N° 31, 2003