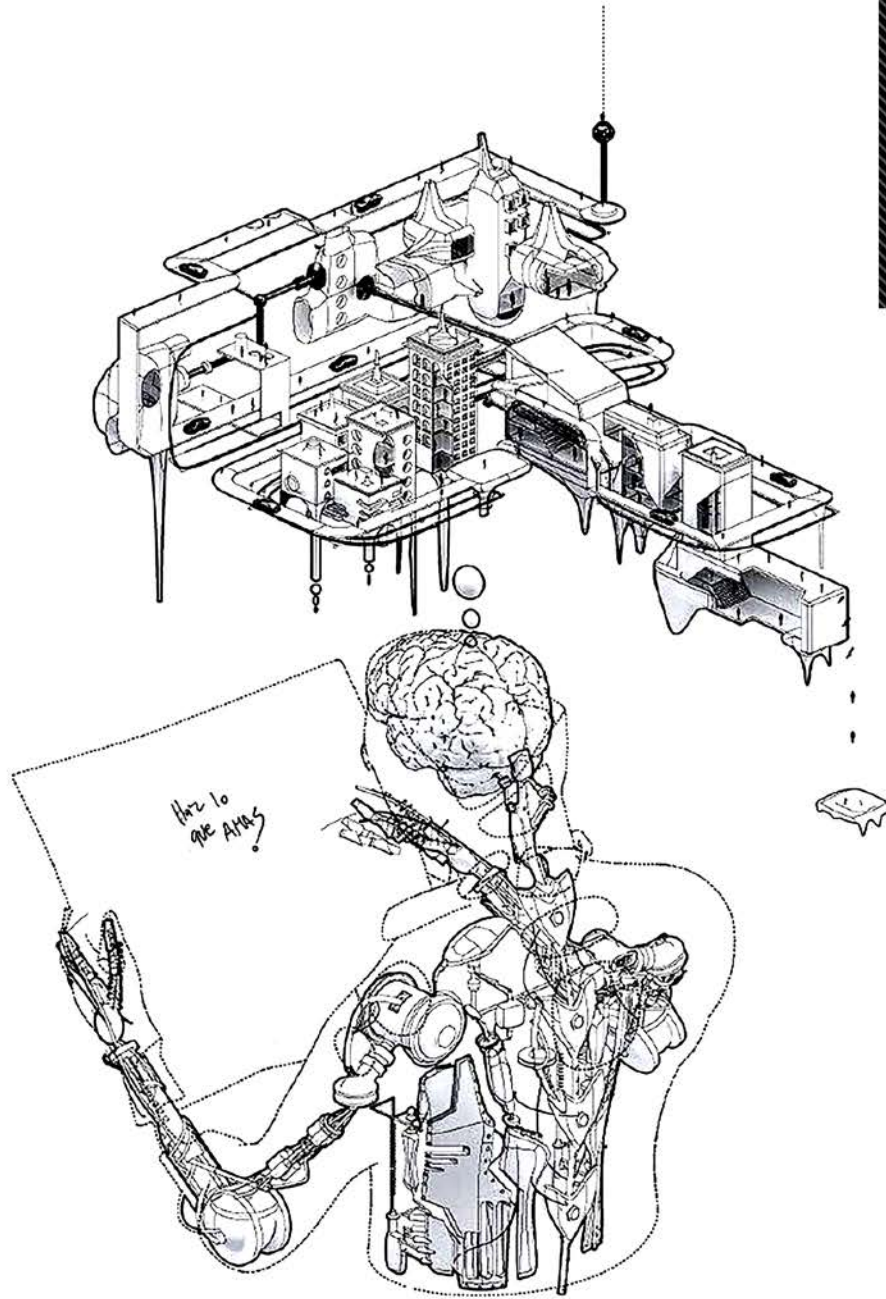


LA MÁQUINA À ARQUITECTURA

EN EL LABORATORIO DE LAS HERRAMIENTAS
DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO





Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

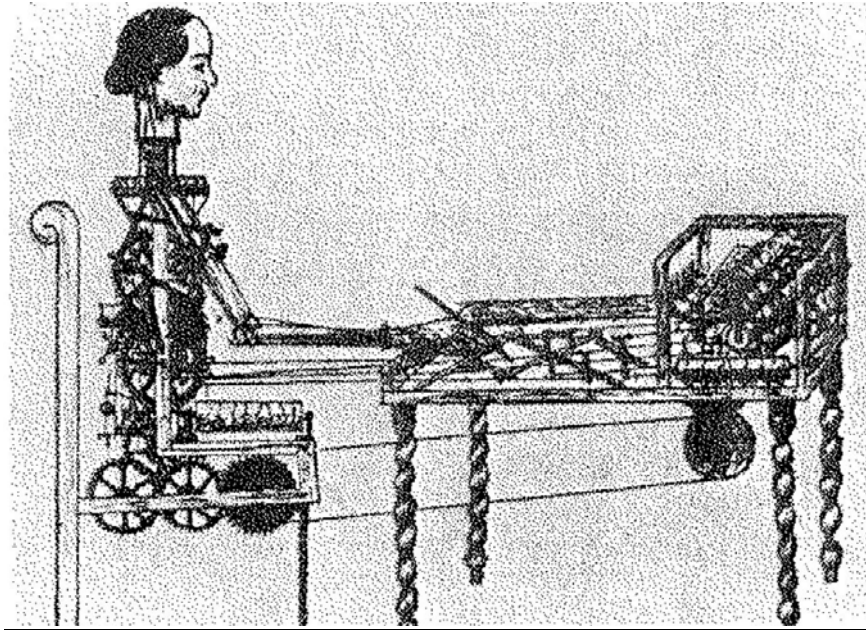
Autor: Charif Bouharaoui

Tutores: Julia Molino Barrero, Amadeo Ramos Carranza

Departamentos de Proyecto Arquitectónicos. Sevilla, 7 Septiembre 2020

ÍNDICE:

Resumen _____	4	2. Un proceso en continuo desarrollo _____	55
Abstract _____	5	3. El futuro de la Inteligencia Artificial _____	59
I. INTRODUCCIÓN: Arquitectura + I.A _____	7	A. Un abanico de posibilidades de la Inteligencia Artificial _____	59
1. Hacia Un Nuevo Enfoque _____	7	a. ¿Cómo afecta la Inteligencia Artificial a la profesión del arquitecto? _____	61
II. INTERÉS DEL TRABAJO & OBJETIVOS _____	11	b. ¿Qué medidas deberíamos tomar para salvar a la profesión? _____	63
III. METODOLOGÍA _____	16	V. DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIÓN _____	65
IV. DESARROLLO _____	18	VI. BIBLIOGRAFÍA _____	66
1. Una secuencia de cuatro periodos _____	18		
A. La Modularidad _____	21		
B. El Diseño computacional _____	25		
C. El Parametricismo _____	31		
a. Los orígenes del Parametricismo _____	32		
b. El paramétrico analógico: Antoni Gaudí _____	34		
c. El invento del "SKETCHPAD" _____	37		
d. En la era Computacional _____	40		
e. La inevitable trasmutación de la tecnología paramétrica _____	45		
D. La Inteligencia Artificial - IA _____	47		
a. Orígenes e historia del nacimiento de la tecnología _____	49		
b. El razonamiento inferencial y el aprendizaje automático _____	52		



*Figura 0: Leon, J (1855). Truco de autómeta fingiendo escribir, dibujar y calcular
(Ilustración cortesía de Editions du Griffon, Neuchâtel, Suiza).
Recuperado del libro "The Architecture Machine" de Negroponte p6*

En 2014, la Ecole Normale Supérieure, la universidad más prestigiosa y competitiva de Francia, otorgó a sus candidatos para el examen de ingreso el siguiente tema: "Explicar". Sin subtítulo, sin anexo, nada. Un examen de 8 horas se llevó a cabo por más de 15.000 candidatos, bajo esta sola palabra. Lejos de la protesta pública que siguió inmediatamente a este evento, vemos este mandato como la única y valiosa responsabilidad de nuestro tiempo: Explicar. Si una cosa es tener convicciones, otra es encontrar las palabras adecuadas para enseñar a los demás.

La era de las máquinas no abolirá esta verdad. Por el contrario, crear la taxonomía correcta será más que nunca una habilidad crucial para configurar las nuevas formas de inteligencia esperando que aprovechen las capacidades de los arquitectos. Pero ya no es un ejercicio de arriba hacia abajo: sino que la máquina no solo ejecutaría dócilmente la instrucción transmitida por la "palabra correcta", sino que a su vez podría sugerir sus propias "palabras opcionales". De hecho, el desarrollo de la Inteligencia Artificial, o IA, está creando las condiciones de un empoderamiento reflexivo: la máquina podría convertirse en un "asistente" confiable, siempre que los profesionales lo eduquen o le "expliquen" adecuadamente el trabajo.

Resumen:

La práctica de la arquitectura, sus métodos, tradiciones y conocimientos técnicos son siempre temas de debate de los amantes del diseño y la arquitectura. Desafiado por la ciencia, que llega con nuevas tecnologías prácticas que cuestionando su estado actual, la Arquitectura está experimentando una (R)evolución verdaderamente profunda.

Entre los factores que dejaran un impacto duradero en nuestra disciplina, La Tecnología es una de los factores más influyentes. El desarrollo de la tecnología ha sido un elemento clave en el desarrollo de la arquitectura. Desde los comienzos de la historia, el hombre ha experimentado, modificado y transformado los procesos productivos a través del conocimiento de la técnica. La técnica no solo se transforma en asegurar la satisfacción de las necesidades elementales y lograr la satisfacción de las necesidades con un mínimo esfuerzo, sino también en crear condiciones nuevas que no existían. Por lo que la técnica sería en cierto modo reflejo de la

evolución histórica. El inicio de soluciones tecnológicas en cada paso de la cadena de valor ya ha transformado significativamente la arquitectura. De hecho, la concepción de los edificios ya ha comenzado una lenta transformación: primero al aprovechar las nuevas técnicas de construcción, luego al desarrollar el *software* adecuado y, en la actualidad, al introducir capacidades de computación estadística (incluyendo la ciencia de datos y la Inteligencia Artificial). En lugar de una interrupción, queremos ver aquí una continuidad que condujo a la Arquitectura a través de sucesivas evoluciones hasta hoy. La Modularidad, el Diseño Computacional, el Parametricismo y, finalmente, la Inteligencia Artificial son para nosotros los cuatro pasos intrincados de una transición lenta. Más allá de los antecedentes históricos, postulamos que esta evolución es la estructura de una mejora radical en la concepción arquitectónica.

Abstract:

The practice of architecture, its methods, traditions and knowhow are today at the center of passionate debates. Challenged by outsiders, arriving with new practices, and questioned from within, as practitioners doubt of its current state, Architecture is undergoing a truly profound (R)evolution.

Among the factors that will leave a lasting impact on our discipline, technology certainly is one of the main vectors at play. The inception of technological solutions at every step of the value chain has already significantly transformed Architecture. The conception of buildings has in fact already started a slow transformation: first by leveraging new construction technics, then by developing adequate software, and eventually today by introducing statistical computing capabilities (including Data Science and Artificial Intelligence). Rather than a disruption, we want to see here a continuity that led Architecture through successive evolutions until today. Modularity, Computational Design, Parametricism and finally Artificial

Intelligence are to us the four intricated steps of a slow-paced transition, Beyond the historical background, we posit that this evolution is the wireframe of a radical improvement in architectural conception.



I. INTRODUCCIÓN: Arquitectura + I.A

1. Hacia Un Nuevo Enfoque:

La arquitectura es conocida como una de las profesiones más antiguas del mundo. Grandes civilizaciones como los egipcios, los romanos y los chinos conocieron la arquitectura y ese conocimiento, lo podemos apreciar en grandes edificaciones como lo son las pirámides egipcias y la gran muralla china entre otros. Desde entonces la arquitectura ha ido evolucionando, y siempre ha sido influida por el arte, la economía, la política, la tecnología y la cultura, y sigue siendo afectada por estas categorías.

La arquitectura moderna es una combinación de elementos y diseños antiguos y elementos y diseños contemporáneos. La tecnología computacional ha afectado en gran medida a la arquitectura contemporánea, incluso hoy en día los arquitectos pueden visionar un edificio y corregir fallos en el proyecto sin necesidad de esperar a su construcción. Esto se logra mediante la modelación en 3D y el desarrollo de computadoras con mayor poder de procesamiento de datos.

La tecnología ha condicionado ideológicamente en gran medida la producción y por ende la manifestación arquitectónica, sobre todo en el acento hacia la novedad que ella supone y su reiteración como búsqueda del rendimiento y eficiencia.

En la historia de la arquitectura, los procedimientos constructivos y los materiales de construcción han determinado en gran medida las características formales y funcionales resultantes de cada edificio. Los sistemas

constructivos descubiertos y los materiales disponibles en cada región y época influyeron en las soluciones ofrecidas en cada tendencia y estilo. Los griegos hicieron del mármol blanco su material predilecto y crearon procesos constructivos para explotarlo. Los romanos necesitaron una rápida expansión de su cultura a lo largo de su imperio, e inventaron el hormigón para producir múltiples templos rápidamente. Nuestro siglo se ha distinguido con creaciones arquitectónicas ideadas con materiales que en su mayor parte se han descubierto y desarrollado en los últimos doscientos años.

La Revolución Industrial produjo un favorable avance en los procesos tecnológicos y constructivos, que se vieron reflejados en la arquitectura de los siglos XX y XIX (Donald M. Snow. 1995). Época de las grandes hazañas de la ingeniería y los inventos técnicos. En 1851 Joseph Pastón diseñó el famoso “Palacio de Cristal” (figura 1) a partir de innumerables partes articuladas en serie, que hizo posible un prefabricado racional y un sencillo montaje.

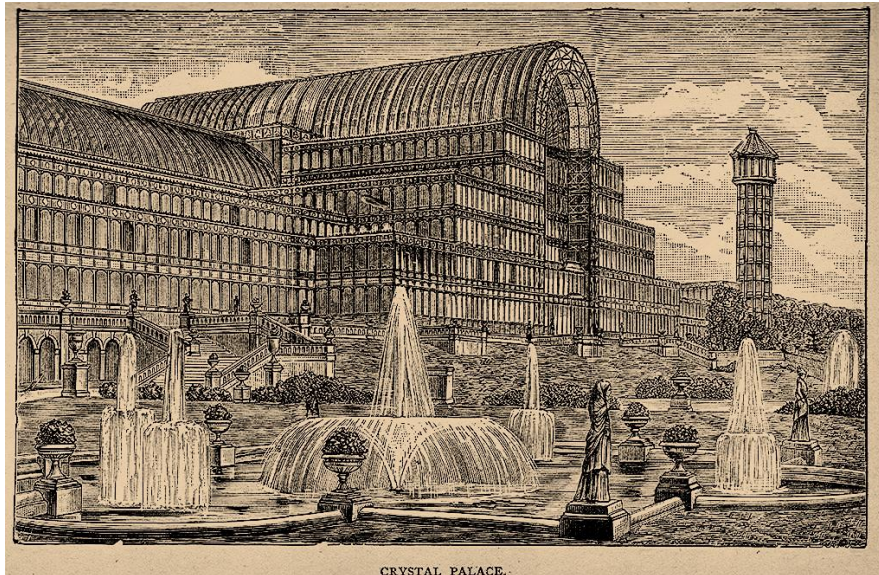


Figura 1: Cornelius, B. (1886). *Illustration del Crystal Palace de Londres. Grabado. Recuperado del libro "True Stories of the Reign of Queen Victoria" de Cornelius Brown. <http://flickr.com>*

Gracias a esta explosión de avances tecnológicos y una nueva visión teórica de la arquitectura, surge el Movimiento Moderno, que marcó una ruptura con las formas compositivas tradicionales. Su influencia superó el ámbito arquitectónico y afectó a otras artes y diseños. El Movimiento Moderno aprovechó la tecnología de las posibilidades de los nuevos materiales industriales como el hormigón armado, el acero laminado y el vidrio plano

en grandes dimensiones. Le Corbusier, Mies Van der Rohe, Louis Kahn, Niemeyer no hubieran podido acceder a la realización de sus obras sin la tecnología de las megaestructuras y las grandes luces en hormigón y acero, por ejemplo (Kenneth Frampton. 2009).

En la actualidad, estos materiales han sido ya explotados al máximo mediante la creación de innumerables procedimientos edificatorios que fueron inventados y ensayados por sus constructores y han permitido generar las formas singulares que distinguen a la arquitectura del siglo XXI. Las técnicas utilizadas son frutos de la influencia del arte y, principalmente, de los avances tecnológicos que facilitan cada vez más la conexión entre el Hombre y la Máquina (Kenneth Frampton. 2009). Afirman algunos de los científicos como E.Musk, Gates y Hawking que esta "Nueva" tecnología de la Inteligencia Artificial, cambiará la manera de vida del ser humano (Kelvin Lui, Jeff Karmioli. 2018). Esta revolución implica a varios campos creativos entre ellos la arquitectura, y en gran medida el diseño y la creatividad

en general. Si los avances tecnológicos ya han cambiado la forma de proyectar de los arquitectos que cada vez es más eficiente ¿Que será la influencia que sufrirá nuestro trabajo como arquitectos, y como cambiará la práctica del diseño con esta Revolución de la Inteligencia Artificial? ¿Colabora el surgimiento y posterior avance del Diseño Computacional “liberando” o bien “atrapando” nuestra mente creativa? Y ¿Cómo afectará a la salud mental del ser humano?

La Inteligencia Artificial, como disciplina, ya ha estado impregnando innumerables campos, incorporando medios y métodos a desafíos no resueltos previamente en todas las industrias. El advenimiento de la Inteligencia Artificial en la arquitectura, aún está en sus inicios, pero ofrece resultados prometedores. Más que una mera oportunidad, ese potencial representa para nosotros un gran paso adelante, a punto de remodelar la disciplina arquitectónica.



II. INTERÉS DEL TRABAJO & OBJETIVOS:

Hoy en día conocemos un desarrollo exponencial de las tecnologías digitales que cada vez influyen más en nuestra vida del día-a-día acompañándonos en casi todas las tareas sean privadas o comunes. En definitiva, vivimos en el área digital, y para poder desarrollar una “arquitectura digital” cada vez más consistente y operativa resultará fundamental ampliar progresivamente el conocimiento de los arquitectos y, sobre todo, de los estudiantes de arquitectura sobre la tecnología digital y sus posibilidades.

Este hecho, sin embargo, contrasta con la denuncia de numerosos autores como Kostas Terzidis, Rivka Oxman o Toni Kotnik, sobre la falta de compromiso, interés y rigor con que la arquitectura se aproxima a este tema Molly (Wright Steenson. 2017. p:58). En el ámbito de la formación universitaria, por ejemplo, no existe un bloque docente suficientemente amplio y profundo que proporcione a los alumnos una visión global y operativa sobre las posibilidades arquitectónicas asociadas a los medios digitales, sino entendidos siempre como una herramienta auxiliar o subsidiaria para el desarrollo de las ideas adquiridas en otras materias, o bien ha de aprenderlas por cuenta propia el alumno.

Debemos hacer referencia también al ámbito de la práctica profesional, en la que la visión utilitaria y auxiliar del *software* predomina claramente sobre cualquier otra consideración. Incluso en muchas de las oficinas ligadas a la experimentación y la arquitectura singular, lo digital suele tratarse mas como un recurso mediático que como

una verdadera herramienta de innovación y reflexión proyectual.

El presente documento tiene como objetivo a la vez que exponer a los arquitectos y futuros arquitectos de forma breve las etapas de los avances tecnológicos, cómo han influido en nuestra disciplina y la significancia de los mismos en nuestra manera de pensar, crear y diseñar. Incluso estimular la curiosidad de algunos para la búsqueda y aprendizaje de nuevos medios digitales, proponer nuevas visiones de enseñanza motivando a los alumnos a usar nuevas herramientas de diseño e investigación reivindicando la necesidad de considerar el diseño digital como una disciplina en sí misma, una disciplina capaz de inspirar y promover por cuenta propia el surgimiento de nuevas estrategias proyectuales como propone la arquitecto israelí Rivka Oxman entre otros, cuyo planteamiento vincular las nuevas herramientas digitales a la enseñanza de la arquitectura y el diseño (Ludger Hovestadt. 2012).

En los últimos años, la tecnología y la automatización de la arquitectura se han disparado, y ahora abarcan todos los aspectos de la práctica, de la misma incluida la entrega del edificio, el rendimiento, la evaluación y la facturación del proyecto. Pero no todos los arquitectos están aprovechando las tecnologías emergentes, y existe una creciente sensación de que, si las empresas no incorporan la Inteligencia Artificial a la práctica, se quedarán atrás. *"Hemos estado hablando sobre estos temas durante mucho tiempo"*, dijo Natasha Luthra, presidenta de la Comunidad de Conocimiento de Tecnología en la Práctica Arquitectónica en el AIA y directora de tecnologías emergentes en Jacobs del año 2018. *"Toda la industria podría cambiarnos en un centavo"*, afirmó en el Congreso de Conexiones de Construcción. *"Tenemos que encontrar una manera de adelantarnos a la revolución antes de que nos aplaste"* (Kathleen M. O'Donnell. 2018). Las empresas de construcción y *software* están incorporando la Inteligencia Artificial más rápidamente que los estudios de arquitectos, lo que podría dejar a los arquitectos fuera de

las decisiones clave sobre cómo la tecnología influirá en la práctica. Randy Deutsch, director asociado del AIA en los estudios de posgrado de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, ha escrito tres libros sobre tecnología de diseño en la práctica profesional. *"Pronto veremos a la súper inteligencia entrar en casi todos los sectores, mercados y campos"*, dice. *"Estaría bueno para los arquitectos imaginar que entrará en nuestro campo, y ahora tenemos la oportunidad de hacer algo al respecto, para ver las formas en que realmente puede mejorar lo que estamos haciendo y hacernos más rentables como profesionales en lugar de ser víctimas de otra persona que se encargue de ellos..."* (Kathleen M. O'Donnell. 2018). Algunos temen que la tecnología avance tan rápidamente que la curva de aprendizaje sea imposible de superar para los arquitectos, o que la Inteligencia Artificial reemplace a los arquitectos por completo. Según los expertos, eso es muy poco probable. *"No tiene fundamento que la Inteligencia Artificial pueda reemplazar a los humanos, especialmente*

como diseñadores", dice Patrick Hebron (2019: min30), diseñador de experiencia de usuario de Adobe Systems y profesor adjunto de posgrado en la Universidad de Nueva York. "*La Inteligencia Artificial se limita a la naturaleza y las tendencias de la experiencia humana*" (Hebron, P.2018: min37) afirma, y agrega que el elemento humano es crucial porque dejar el diseño sólo a las máquinas crearía un entorno construido no habitable. Los arquitectos deben ver la Inteligencia Artificial como una oportunidad, una herramienta para aumentar la práctica y reemplazar las tareas repetitivas, no como una amenaza para sus trabajos. Como fundador y CEO de la agencia de diseño digital Proving Ground, Nate Miller investiga y desarrolla *software* basado en datos de *BigData* para la industria de la construcción (Kelvin Lui, Jeff Karmioli. 2018: p.25-26). "*Si te metes en la ciencia detrás de la Inteligencia Artificial y la investigación sobre el aprendizaje automático, puedes encontrar cosas altamente futuristas. Pero donde se aplica, no se usa como un reemplazo para el pensamiento humano o la resolución de problemas. Está*

destinado a ser un acelerador que posiciona la computadora para manejar ciertas cosas en las que una computadora es realmente buena" (Hebron, P.2018: min55). Miller y Hebron están de acuerdo en que corresponde a los humanos determinar cómo las máquinas pueden ayudarnos a resolver problemas de manera más inteligente y eficaz que en el pasado. Afirma Hebron que "*También podríamos pensar que la máquina ofrece posibilidades o evidencia para respaldar el proceso de toma de decisiones*" (Hebron, P.2018: 23min). Es seguro decir que las decisiones del diseño serán finalmente tomadas por los humanos, o al menos verificadas por los humanos, en el futuro previsible. En una época en que se cuestiona el valor de los arquitectos y sus servicios, los profesionales deben pasar de las discusiones teóricas sobre el futuro para incorporar los datos de *BigData* y la automatización en su flujo de trabajo diario. Al hacerlo, crearán eficiencias para reducir el tiempo perdido, en última instancia, mejorando los modelos de práctica y agregando valor a toda la profesión.

Afortunadamente, los arquitectos tienen la capacidad creativa de resolver problemas, pero todavía tendrán que cambiar su forma de pensar para que sea más flexible. *"A menudo no echamos una mirada crítica a la forma en que estamos haciendo nuestro trabajo"*(Michael, K.2018: p.12), dice Michael Kilkelly, director de Space Command en AIA y propietario de ArchSmarter, una compañía dedicada a hacer que la tecnología sea accesible para los diseñadores. *"Creo que hay muchas oportunidades en la forma en que trabajamos para pensar creativamente sobre cómo podríamos hacerlo mejor"* (Michael, K.2018: p.10).

III. METODOLOGÍA:

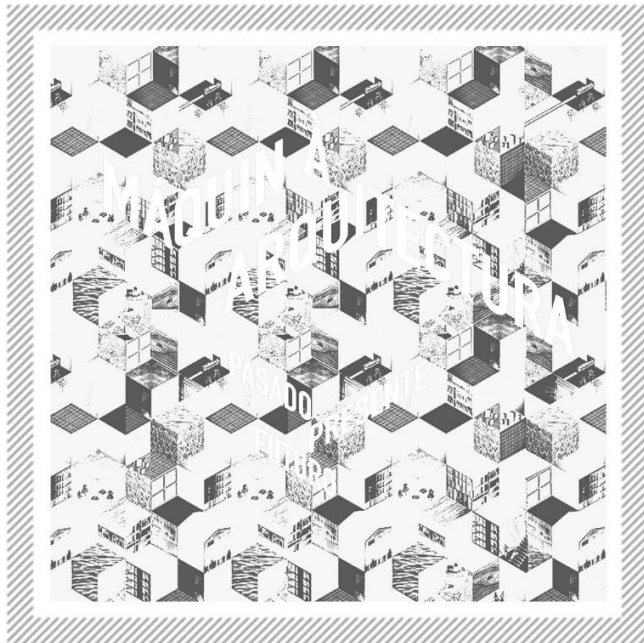


En este trabajo desarrollaremos una variedad de etapas de evolución de las herramientas arquitectónicas desde la Revolución Industrial hasta el día de hoy con una proyección al futuro, mediante la metodología que a continuación exponemos. Para presentar esta cronología de etapas, se estudia cada una de ellas a través del análisis de su contexto histórico y su evolución, y cómo ha ido desarrollándose, nombrando sus ventajas e inconvenientes, hechos históricos además de los avances tecnológicos y digitales causantes del cambio. Cada periodo se caracteriza por un estilo y personalidad formada por la manera del desarrollo de las herramientas adecuadas a cada fase. Es la razón por la que reconstruir el contexto y los puntos destacados de la reciente historia de nuestra disciplina es un requisito previo para entender el desarrollo de la misma. Es necesario para entender la transición entre los periodos.

A partir de esta exposición apoyada con ejemplos, se hace una comparativa entre los periodos estudiados a través de visualizaciones, explicando gráficamente su desarrollo en términos de calidad, singularidad, relevancia y variedad arquitectónicas.

También se explicará cómo podrá desarrollarse la Inteligencia Artificial aplicada a la arquitectura en un futuro próximo y la visión de algunos arquitectos junto a mi reflexión personal, de cómo se desarrollará la arquitectura en la era de la Inteligencia Artificial que está teniendo lugar y que se incrementará en las próximas décadas.

Por último, se relacionará estos avances tecnológicos y, sobre todo, la Inteligencia Artificial con la salud mental de los diseñadores arquitectos y artistas a través del desarrollo de una serie de suposiciones utópicas que resultaran en “bloqueo” mental, incluso a una insatisfacción personal, o sentirnos atrapado en una calle sin salida, manipulados por la máquina y anulados en nuestra aportación en nuestro mundo como humanos.



IV. DESARROLLO:

1. Una secuencia de cuatro periodos:

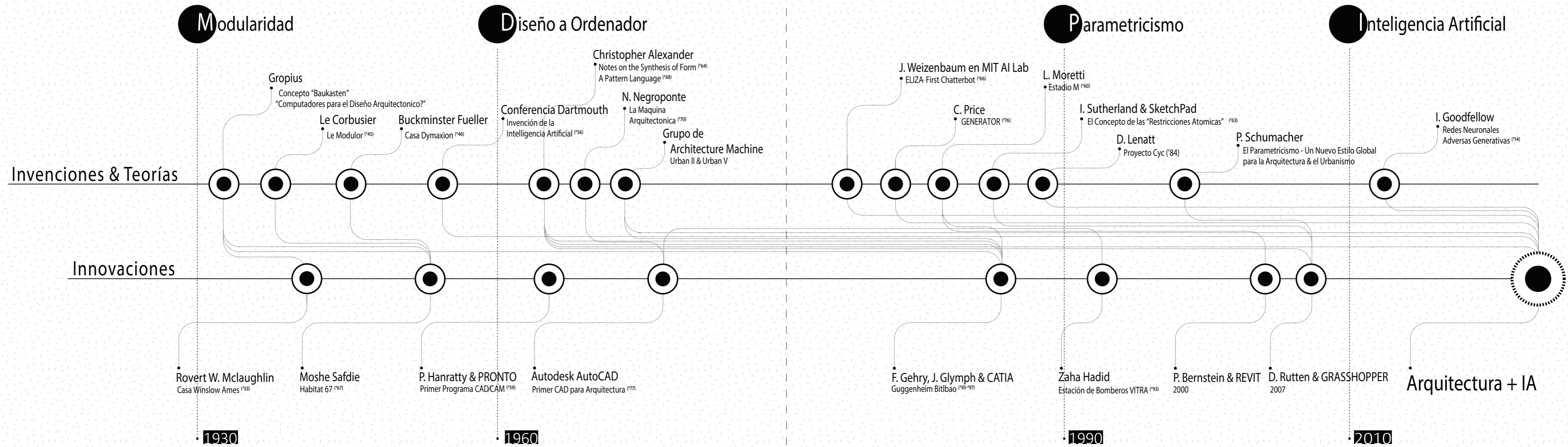
La Modularidad, el Diseño Computacional, el Parametricismo y, finalmente, la Inteligencia Artificial no son pasos herméticos, independientes entre sí: cada período se fusiona y se apropia de los precedentes. Es por eso que, al mirar hacia atrás en la historia, es fundamental distinguir dos niveles de creación: invención e innovaciones. Tim Harford, periodista de la BBC y el “Financial Times”, reúne en su libro las historias detrás de “Cincuenta innovaciones que han cambiado el mundo” (Figura 2), y que ayudan a entender cómo funciona la sociedad actual en la que vive el ser humano. Las invenciones provienen de la investigación académica, mientras que las invenciones inducen innovaciones que siempre nos “atrae” de alguna forma, como dice Harford

en su libro: *“la innovación consiste en cosas nuevas y atractivas de la que disfrutar”* (Hardford, T. 2017: p.34). En la arquitectura, las innovaciones dan forma a una práctica en continuo movimiento: una práctica que ha estado evolucionando entre los períodos de invenciones a las innovaciones.

A partir de ahí, la cronología propuesta tiene como objetivo demostrar las evoluciones profundamente entrelazadas de lo computacional y lo arquitectónico antes de introducir la era de la Inteligencia Artificial arquitectónica como punto culminante. Es la razón por la que reconstruir el contexto y los puntos destacados de la historia reciente de nuestra disciplina es un requisito previo para nuestro trabajo. En la página siguiente, presentamos la cronología de las innovaciones en relación con las teorías y invenciones desde los principios del siglo XX, precisamente del inicio del concepto de la Modularidad que se desarrollo después de la primera guerra mundial, haciendo hincapié en las relaciones entre las innovaciones, teorías y invenciones de cada momento.



Figura 2: Harford, T. (2017). Libro *Cincuenta innovaciones que han cambiado el mundo* (cubierta del libro). Recuperado de <http://amazon.com>





A. Modularidad:

La Modularidad podría considerarse como el punto de partida del diseño arquitectónico sistemático. Iniciado a principios de los años 30, el advenimiento de la construcción modular trajo a la fase de concepción un lenguaje y una gramática arquitectónica, y contribuyó también a simplificar y racionalizar el diseño de los edificios de la época. Teorizado para la *Bauhaus* de Walter Gropius, ya en 1920, la red modular llevaba la esperanza de la simplicidad técnica y la capacidad de ajuste (Andrea Gleiniger & Georg Vrachliotis. 2010: p.35).

Procedente de diferentes direcciones, la Modularidad surgió al principio como un tema de investigación para los académicos y los profesionales del momento. Inicialmente, Gropius introdujo la idea de *Baukasten*, un módulo típico que luego se agrega a través

de reglas de montaje estrictas (Andrea Gleiniger & Georg Vrachliotis. 2010: p.31).

Este carácter sistemático se repetirá un año más tarde con el *Modulor* de Le Corbusier (Figura 3). Aplicando el rigor modular a la escala humana, Le Corbusier, a partir de 1946, ofreció una implementación holística de los principios modulares.

“El Modulor, es una gama de proporciones que hace lo malo difícil y lo bueno fácil.”

Albert Einstein. 1946

Las dimensiones del entorno construido se alinearían en métricas y proporciones clave derivadas del cuerpo humano. Y de hecho, desde *La Tourette* hasta la *Unité d’habitation* en Marsella, Le Corbusier sistematizó las dimensiones y los intervalos para que coincidan con la prescripción del *Modulor*. Sin embargo, con Richard Buckminster Fuller, la Modularidad evolucionó rápidamente hacia una visión más intrínseca integrando los sistemas de construcción en el módulo, como lo demuestra la Casa Dymaxion (Figura 4).

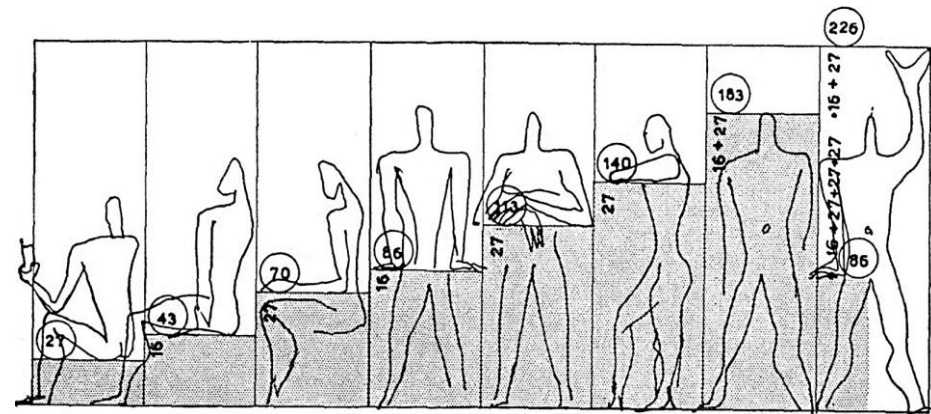


Figura 3: Le Corbusier. 1950. *El Modulor* (Dibujo). Recuperado del libro *“L’Architecture d’Aujourd’hui”* p.67.

Este intento llevó al extremo las posibilidades de viviendas modulares, sentando un precedente vibrante y una prueba del concepto modular para la industria (Loretta Lorance. 2004: p.49).

A partir de entonces, siguiendo a estas primeras teorías se invitó a los arquitectos a cuestionar su espíritu de diseño al imperativo de la matriz y, de igual modo, a transferir parte de la tecnicidad del diseño edificatorio a la lógica del módulo, que cuenta con cualidades importantes que se resumen en: menos molestias, menos costos, más previsibilidad.

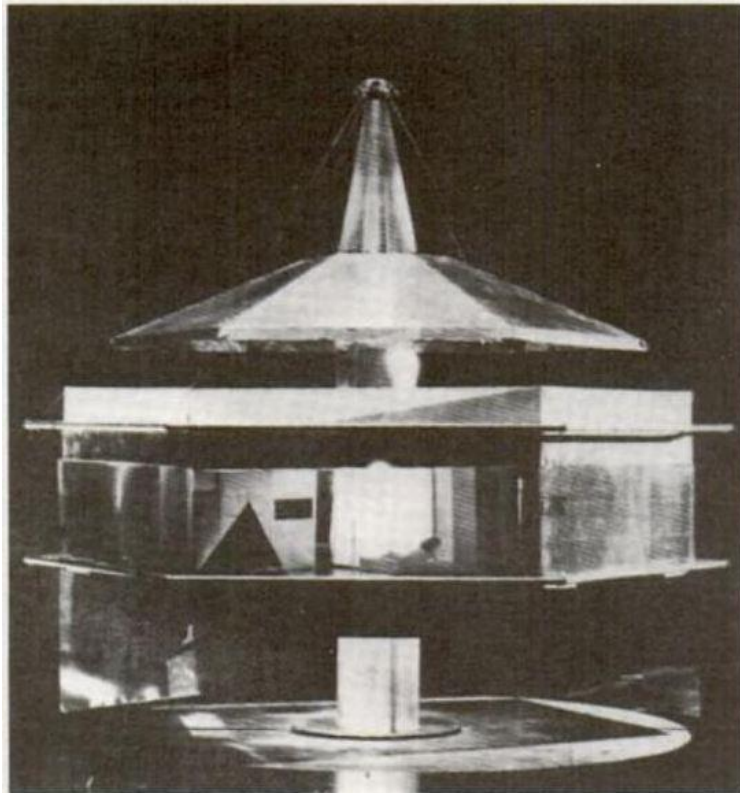


Figura 4: Buckminster Fuller. (1925-1930). Maqueta de La casa Dymaxion con su núcleo central de servicios domésticos. Teoría y diseño en la primera era de la máquina. Recuperado del libro "Building Values: Buckminster Fuller's Dymaxion House in Context" p12

Desde entonces, la Modularidad se extendería rápidamente a la industria en su conjunto: la Casa Winslow Ames, construida por el profesor Robert W. McLaughlin en 1933, y el proyecto de Moshe Safdie:

Hábitat 67 se considera el primer proyecto modular a gran escala en el mundo, que fue considerado como un gran avance (Leonardo Benevolo. 2000: p.522). Incluso la planificación urbana se influyó a finales de los años 60, sobre todo cuando proyectos como el "Plug-in City" del grupo Archigram y Peter Cook (Figura 5) desarrollaron la posibilidad de ciudades modulares. A través del constante ensamblaje y desmantelamiento de los módulos, que se basan en una matriz estructural tridimensional, las ciudades podrían encontrar una lógica renovada, abordar la posibilidad de crecimiento con el imperativo de la viabilidad (Archigram Group. 1999: p.57-62).

Sin embargo, la conexión entre los módulos y los sistemas de ensamblaje a través de reglas mecanicistas condujeron eventualmente a una cuasi-ludificación: una concepción de una estructura arquitectónica similar a la de LEGO. Pero la práctica de la arquitectura no puede simplificarse en "juntar" módulos como en un juego de mesa que agrega un conjunto de reglas y procesos de ensamblaje básicos (Kenneth Frampton. 2009: p.78-80)

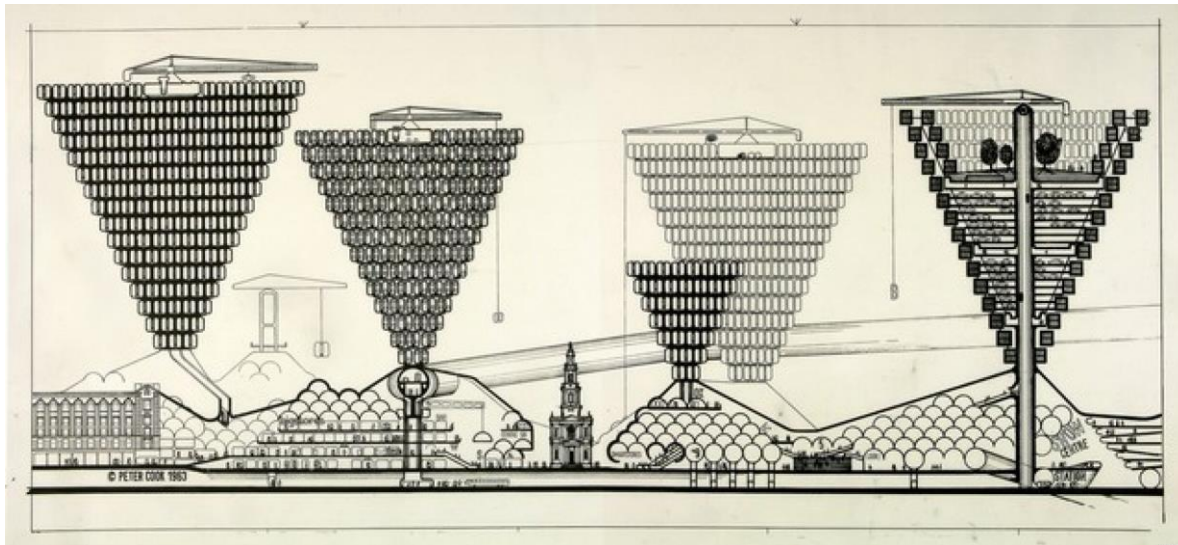


Figura 5: Archigram y Peter Cook (1960-1976). Proyecto de Plug-in City (ilustración de la sección longitudinal). Recuperado de <http://archdaily.com>

La monotonía de los diseños resultantes rápidamente trivializó la teoría y resultó en el desaliento de los arquitectos debido a la debilidad constructiva de sus sistemas de ensamblaje. Sin embargo, a través de su sistema de normas, la Modularidad sigue siendo hoy en día un principio constructivo subyacente aún vivo e interesante en la práctica de la arquitectura.



B. Diseño Computacional:

A la vuelta de los años 80, a medida que la complejidad de los sistemas modulares iba aumentando, la llegada de la computación trajo la viabilidad como escalabilidad al diseño modular. Más allá de la resurrección del módulo, su sistematicidad basada en normas de diseño, se rehabilitó de alguna manera.

El término “computación” hace referencia a la capacidad de realizar cálculos y desarrollar procesos según instrucciones formales o lógicas, mientras que la informática, por su parte, se refiere a la automatización de estos procesos de cómputo gracias al uso del ordenador. La idea de utilizar máquinas para desarrollar las tediosas tareas de cómputo y gestión de la información surgirá a partir de 1920, originando el nacimiento de las Ciencias Informáticas. Gracias a los aportes de algunos pioneros como Alan Turing que creó la llamada máquina

de Turing en 1936, un invento que fue clave en el descifrado de los códigos de la máquina Enigma de la Alemania Nazi, una historia contada en la conocida película “Descifrando Enigma” (Figura 6), o John Von Neumann (Von Neumann, J. 1945: p196), entre otros, esta ciencia se irá desarrollando y consolidando como un importante campo de investigación, siendo especialmente impulsada en sus comienzos por los departamentos de inteligencia militar.

De hecho, será en la década de los 50 cuando aparezcan las primeras herramientas informáticas con cierto nivel de sofisticación, como por ejemplo el sistema SAGE (Semi-Automated Ground Environment), utilizado para la coordinación de operaciones militares a través de radar (Donald M, Snow. 1995: p157).

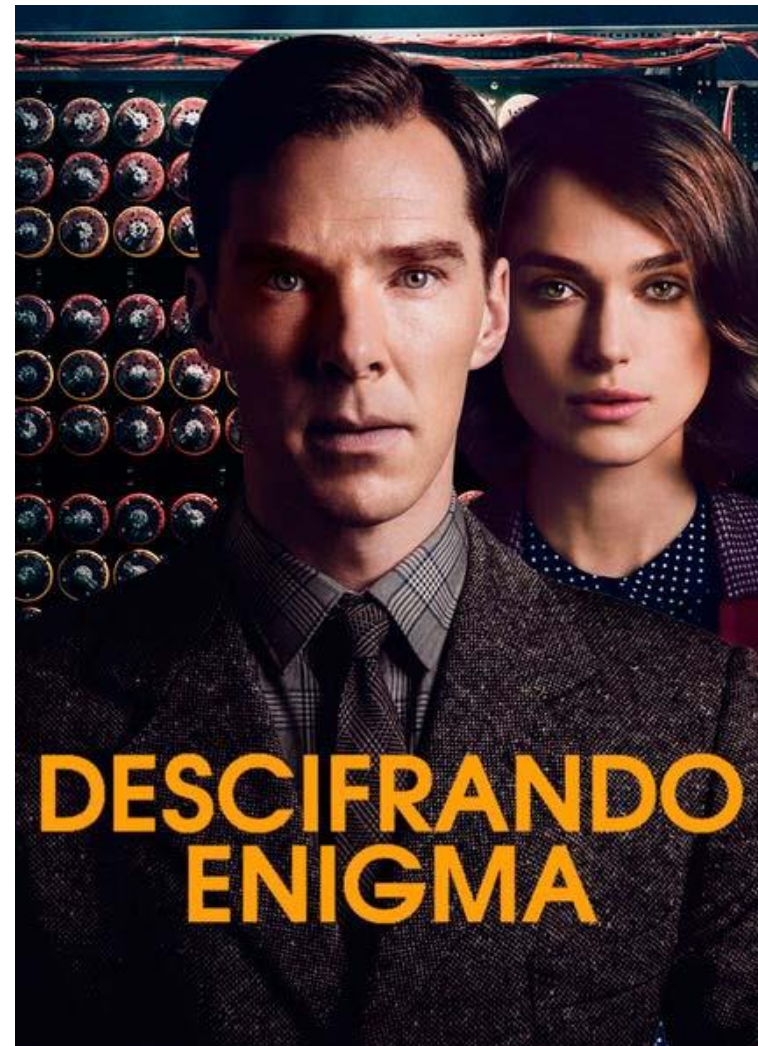


Figura 6: Morten Tyldum. (2014). Pelicula de Alan Turing Descifrando Enigma. (Folleto de Pelicula). Recuperado de <http://Netflix.es>

En el ámbito concreto de la arquitectura, cabe destacar la importancia de personajes como Gordon Pask o Nicholas Negroponte, pioneros en la incorporación de conceptos y herramientas informáticas en el seno de la disciplina, y principales exploradores de esta supuesta simbiosis entre hombre y máquina.

En el artículo *The Architectural Relevance of Cybernetics* de 1969, Gordon Pask reivindicará la necesidad de considerar la cibernética como un medio fundamental para superar el funcionalismo moderno y avanzar hacia una arquitectura mucho más adaptable y dialogante, hacia una arquitectura basada en el concepto de mutualidad. Pask apostará así por una arquitectura en la que obra y usuario establezcan un diálogo dinámico, una relación de interacción mutua que abra la posibilidad de una concebir una arquitectura en constante evolución.

Procedentes de diferentes campos, una reflexión de alto nivel sobre el potencial del diseño computacional comenzó a mediados de los años 50, dentro de una disciplina adyacente: la ingeniería. En 1959, el profesor

Patrick Hanratty lanzó prontamente, el primer prototipo del *software* CAD (Computer Assisted Drawing) orientado hacia el diseño. La posibilidad ofrecida por dicho *software*, junto con el rápido potencial evolutivo computacional, dio pie a un debate dentro del campo arquitectónico. Poco después, Christopher Alexander, arquitecto y profesor en la Universidad de California en Berkeley (conocida como Cal), comenzó la discusión estableciendo los principios clave para el diseño a ordenador. En sus libros *Notes On the Synthesis of Form* (Christopher, A. 1964) y en *El lenguaje de patrones* (Christopher, A. 1968), Alexander teorizó por qué y cómo deberían usarse los ordenadores para abordar los métodos del diseño. Su primera comprensión del potencial del software para el diseño, contrastaba profundamente con el enfoque centrado en el *hardware* en su momento (Roberto Botazzi. 2018: p.92). Los principios fundamentales que definió en su libro siguen siendo hoy en día la base de la programación de software: conceptos como la recursión computacional, programación orientada a objetos – POO – y su aplicación

al diseño han representado un avance radical. Siguiendo este impulso, toda una generación de científicos y arquitectos informáticos creará un nuevo campo de investigación: Diseño computacional. El arquitecto estadounidense Nicholas Negroponte, por su parte, explorará la posibilidad de establecer un diálogo productivo entre diseñador y computador, interpretando este último como un auténtico compañero de trabajo, gracias a las posibilidades ofrecidas por la Inteligencia Artificial. A través de sus trabajos al frente del *Architecture Machine Group* o *AMG* del MIT, Negroponte tratará de crear una máquina capaz de interactuar con el arquitecto en el proceso de creación y de desarrollo proyectual, estableciendo una visión extremadamente ambiciosa y singular de lo que debería ser un verdadero diseño asistido por ordenador. Este proyecto es probablemente la encarnación más ejemplar del diseño computacional.

El libro de *The Architecture Machine* resume la esencia de la misión del grupo Arch Mac : **investigar cómo las máquinas pueden mejorar el proceso creativo, y más específicamente, la producción arquitectónica en su conjunto.** (Negroponte,N. 1970: p10, p29)

Concluyendo con el lanzamiento de los proyectos URBAN 2 y URBAN 5 (Figura 7 y Figura 8), este grupo demostrará, incluso antes de que la industria le dedique cualquier esfuerzo, el potencial de CAD aplicado al diseño del espacio.

Tras esta investigación concluyente, los arquitectos y la industria, en general, fomentaron activamente estas invenciones y llegaron a considerarse nuevas innovaciones revolucionarias. El arquitecto Frank Gehry fue el defensor más vibrante de este caso. Para él, la aplicación de la computación mejora drásticamente el límite de los sistemas de ensamblaje y permitir nuevas formas y geometrías de construcción (I. Scott MacKenzie. 2012: p38).

Gehry Technologies, una empresa fundada por Gehry y Jim Glymph en la década de los 80, ya usaba el *software* de *Dassault Systems* llamado *CAD-CAM* (como por ejemplo *CATIA*) para abordar problemas geométricos complejos. (Robert Woodbury, Robert Aish, Axel Kilian. 2007).

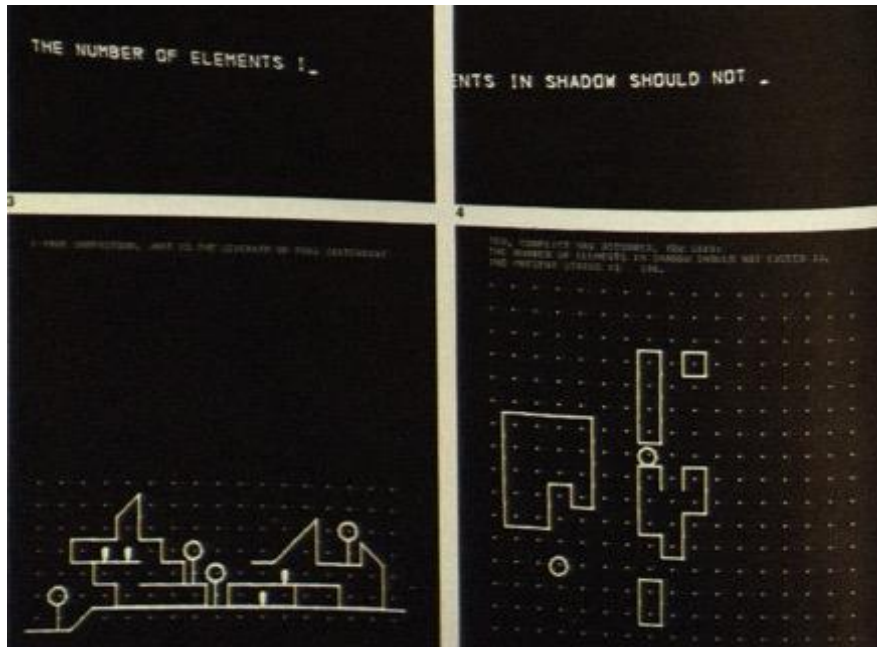


Figura 7: AMG MIT (1967). Ejemplos de resultados obtenidos por URBAN5, Dialogo con el usuario, Visualización en planta y sección (Fotografía). Recuperado del libro "The Architecture Machine" p84

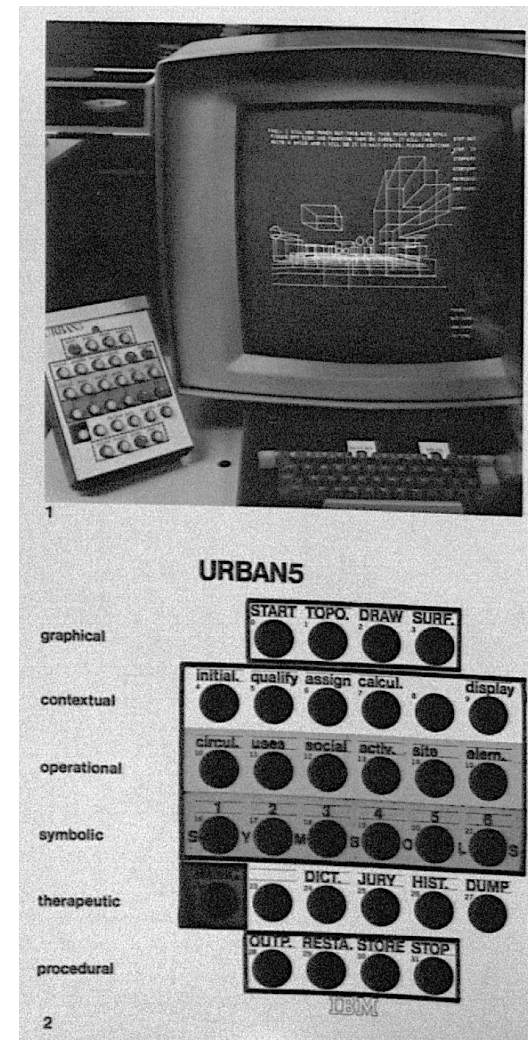


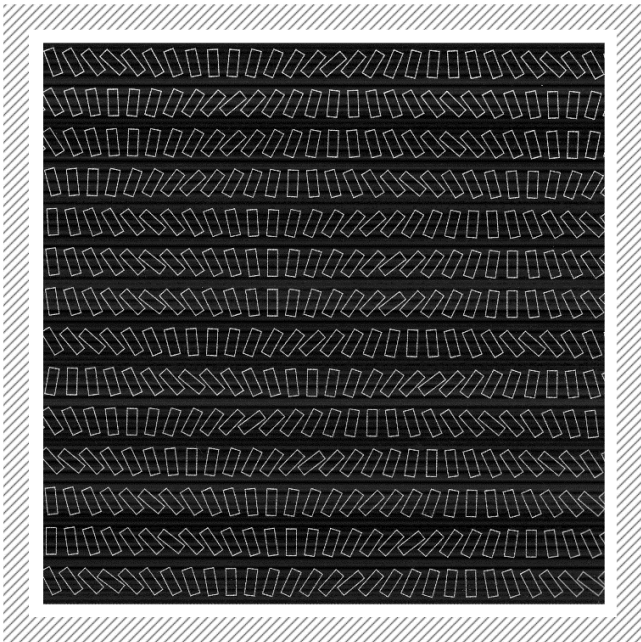
Figura 8: AMG MIT (1967). Prototipo URBAN5 superpuesto al tubo de rayos catódicos IBM 2250 (Fotografía). Recuperado del libro "The Architecture Machine" p74.

Usando esta tecnología durante 30 años, Gehry Technology demostró el valor de la computación para los arquitectos, provocando un “terremoto” en la profesión (I. Scott MacKenzie. 2012: p.45). Durante los siguientes 15 años, el crecimiento irresistible de las capacidades de almacenamiento de datos y poder computacional, combinado con máquinas cada vez más asequibles y más fáciles de usar, facilitó enormemente la utilización de software de diseño en 3D (I. Scott MacKenzie. 2012: p.75).

Los arquitectos aprobaron rápidamente el nuevo sistema basándose en argumentos lógicos claros: primero porque el diseño computacional permite un control riguroso de la geometría, aumentando la confiabilidad, la viabilidad y el costo del diseño, segundo, facilita y ayuda a la colaboración entre los diseñadores, y finalmente permite más interacciones de diseño de las que podía permitirse el tradicional dibujo a mano. Más pruebas y más opciones para mejores resultados y diseños (Michael, Crumpton. 2003: p.131).

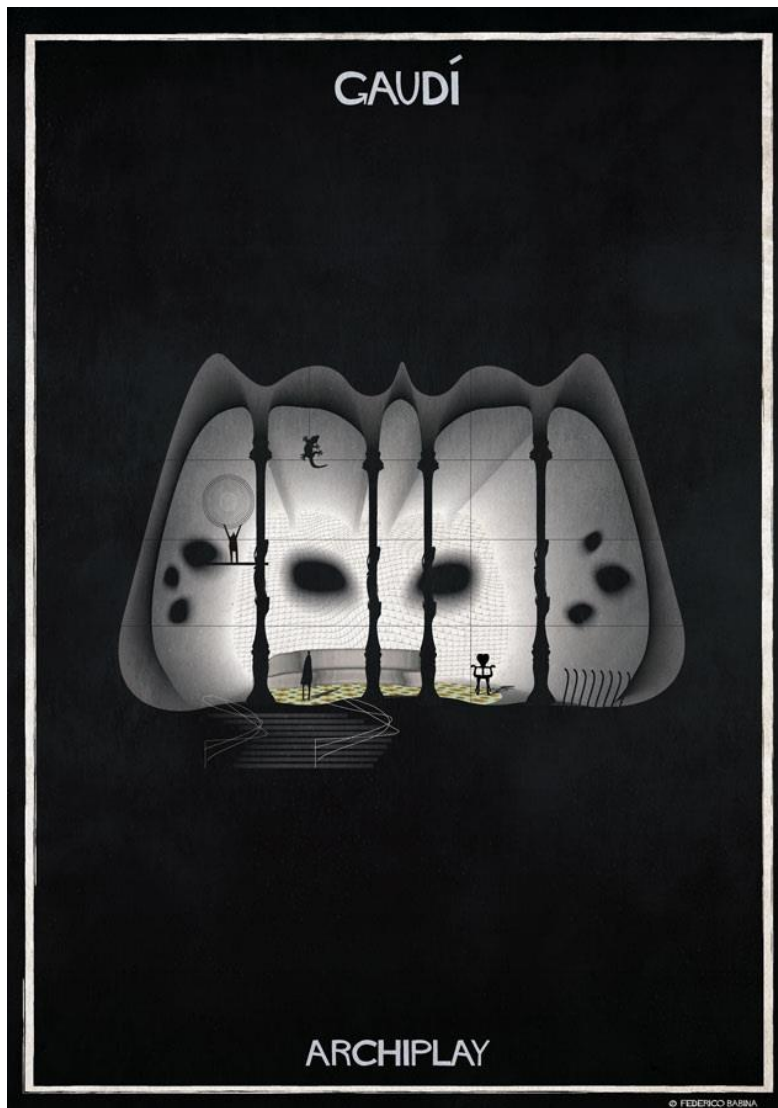
Sin embargo, a lo largo de la transición, y a medida que los diseñadores se comprometían con el Diseño Computacional, eventualmente surgieron algunos defectos. En particular, la repetitividad de ciertas tareas y la falta de control sobre formas geométricas complejas se convirtieron en serios obstáculos. **Estas dificultades prepararon el camino hacia un movimiento completamente nuevo que estaba surgiendo dentro del Diseño de Computación: Parametricismo.**

“...Todo, el diseño, la tecnología y lo materiales, ha cambiado desde que se construyó el Centro Mundial de Comercio. Mucho de esto tiene que ver con los ordenadores, que nos permiten ser mucho más eficientes y estructuralmente sanos...” Frank Gehry, 2006



C. El Parametricismo:

En el mundo de los parámetros, tanto las tareas repetitivas como las formas complejas podrían ser enfrentadas, cuando puedan racionalizarse a unos conjuntos de patrones simples. Los patrones podrían estar codificados en un programa de *software*, para automatizar el largo proceso de implementación manual. Este paradigma condujo el advenimiento del Parametricismo. En pocas palabras, si una tarea puede explicarse como un conjunto de comandos dados a la computadora, entonces la tarea del diseñador sería comunicarlos al *software* mientras se aíslan los parámetros clave que afectan el resultado. Una vez codificado, el diseñador o en nuestro caso el arquitecto, podrá variar los parámetros y generar diferentes escenarios posibles: diferentes formas potenciales, produciendo múltiples resultados de diseño a la vez, experimentando varias posibilidades y bocetos en un tiempo muy reducido.



Babina, F. (2014). Gaudí, ARCHIPLAY. (Cuadro Artístico). Recuperado de <http://federicobabina.com>

a. Los orígenes del Parametricismo:

El término paramétrico se origina en las matemáticas, pero **¿cuándo comenzaron los diseñadores a usar la palabra?** David Gerber, en su tesis doctoral *Práctica paramédica*, acredita a Maurice Ruitter por usar el término en un trabajo de 1988 titulado *Parametric Design* (Gerber, D. 1988). 1988 fue también el año en el que Parametric Technology Corporation, fundada por el matemático Samuel Geisberg en 1985, lanzó el primer *software* de modelado paramédico con éxito comercial, Pro / ENGINEER (Carlos L, Marcos. 2019: p55). Pero Robert Stiles sostiene que la verdadera procedencia del término se produce en los escritos del arquitecto Luigi Moretti en los años cuarenta donde constan diecinueve parámetros que, con el diseño del *Complejo Watergate* (Figura 14), se considera el primer trabajo importante de construcción que hace uso significativo de la informática y el Parametricismo (Davis, Daniel. 2013).

El Diseño Paramétrico tiene una larga historia en las matemáticas y los primeros ejemplos que podemos

encontrar utilizados para describir modelos tridimensionales son de casi cien años antes de los escritos de Moretti. En el papel de James Dwight Dana en 1837 sobre el dibujo de figuras de cristales u otros ejemplos del periodo como Leslie 1821 y Earnshaw 1839. En su libro *The American Journal of Science and Arts*, Dana explica en su artículo (Figura 9) los pasos generales para dibujar una gama de cristales y provisiones para variaciones usando un lenguaje atado con parámetros, variables y relaciones (J.D & E.S Dana. 1839).

Las ecuaciones de cristal de Dana se asemejan a las que serían usadas por arquitectos 175 años después para desarrollar modelos paramétricos de arquitectura.

“Paramétrico” en su sentido matemático original es una palabra que no da más énfasis que otros términos técnicos como paralelo, intersección etcétera, y cuando la utiliza Dana en 1837, o los matemáticos de hoy en día: paramétrico significa lo que la Enciclopedia de Matemáticas llama conjunto de ecuaciones que expresan un conjunto de cantidades como funciones explícitas de un número de

18. Suppose for example the right rectangular prism has been projected, (fig 9.) and it is required to place on its angles the plane $2P$, whose parametric ratio is $2 : 1 : 1$. Since 2 refers to the vertical axis, we lay off on the lateral edge (e) twice as many parts of this edge as of each of the terminal edges (\bar{e} and \check{e} .) Consequently, by taking a point in the edge e distant from a , $\frac{1}{2}$ the length of e , and a point in each \bar{e} and \check{e} , $\frac{1}{2}$ their respective lengths, and then joining these points, the conditions will be complied with, and the plane $2P$ will be constructed. If the plane to be introduced were $4\bar{P}2$ the parametric ratio of which is $4 : 2 : 1$, (in which 4 refers to the vertical axis and 2 to the longer horizontal,) we should in the same manner mark off 4 parts of e , 2 of \bar{e} and 1 of \check{e} ; if the plane were $4\check{P}2$, (in which 2 refers to the shorter horizontal axis,) 2 parts of \check{e} should be laid off, and 1 of \bar{e} . By connecting the points thus determined, the plane $4\bar{P}2$ or $4\check{P}2$ would be delineated. If the

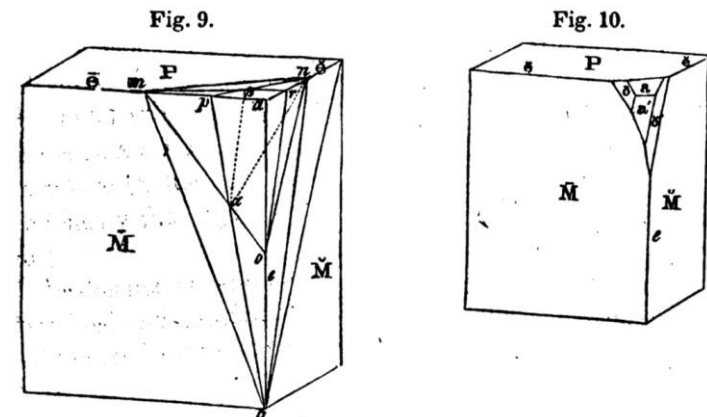


Figura 9: Dana, J.D. (1837). Capítulo 18 del libro de James Dwight Dana donde cita la relación paramétrica entre tres planos (Dana 1837, 42). Y los ejemplos de dibujos de cristales de Dana mostrando el impacto del cambio de la relación del chaflán de borde. Recuperado del libro “*The American Journal of Science and Arts*” p43.

variables independientes, conocidos como "parámetros", funciones explícitas de un número de criterios críticos. (John von Neumann. 1955: p.27)

- Una ecuación paramétrica expresa "**un conjunto de cantidades**" con un número de parámetros.
- Los resultados o conjunto de cantidades están relacionados con los parámetros a través de "**funciones explícitas**".

Este es un importante punto de discusión en definiciones posteriores, ya que algunos arquitectos contemporáneos sugieren que las correlaciones constituyen relaciones paramétricas.

b. El paramétrico analógico: Antoni Gaudí

Aparte de los dibujos de cristal paramétrico de James Dana en 1837, encontramos el ejemplo de Samuel Earnshaw, que escribió sobre las "superficies paramétricas hiperbólicas" deformadas por líneas de fuerza, en un artículo que dio lugar al teorema de Earnshaw (Samuel Earnshaw. 1871: p.14). Estos ejemplos de expresar la geometría con ecuaciones paramétricas son dos de los muchos de la época un período anterior al que el arquitecto catalán Antoni Gaudí comenzara sus diseños con curvas paramétricas de catenaria y paraboloides hiperbólicos a finales del siglo XIX.

Es imposible saber si Gaudí fue influenciado directamente por los diversos científicos y matemáticos que antes habían utilizado ecuaciones paramétricas para definir la geometría. Mark Burry, el actual arquitecto ejecutivo de la *Sagrada Família* de Gaudí, dice que "no hay prácticamente nada escrito por el propio Gaudí acerca de las motivaciones, teorías y prácticas que lo empujaron a usar estos métodos" (Mark Burry.2007: p.17). Pero se sabe

que el currículo universitario de Gaudí incluía, entre otras cosas, matemáticas avanzadas, física general, ciencias naturales y geometría descriptiva. La comprensión profunda de Gaudí de las matemáticas subyace en su arquitectura, especialmente en su arquitectura posterior, que casi exclusivamente consiste en superficies gobernadas matemáticas - helicoides, paraboloides e hiperboloides - paramétricamente asociadas con geometrías regladas, booleanos, relaciones geométricas y arcos catenarios. Independientemente de que Gaudí supiera o no del trabajo anterior que definía la geometría con ecuaciones paramétricas, se puede considerar que Gaudí es ciertamente el primer arquitecto que empleó modelos basados en ecuaciones paramétricas al diseñar la arquitectura.

El uso de ecuaciones paramétricas puede verse en muchos aspectos de la arquitectura de Gaudí, pero tal vez se ilustra mejor con su uso del modelo de cadena colgante. El modelo de la cadena colgante se origina en el anagrama de Robert Hooke (Figura 10), que se descifra y traduce del

latín dice "Al igual que cuelga la línea flexible, pero de forma invertida, permanecerá rígido el arco" (Manuel Silva Suárez. 2004: p.385).

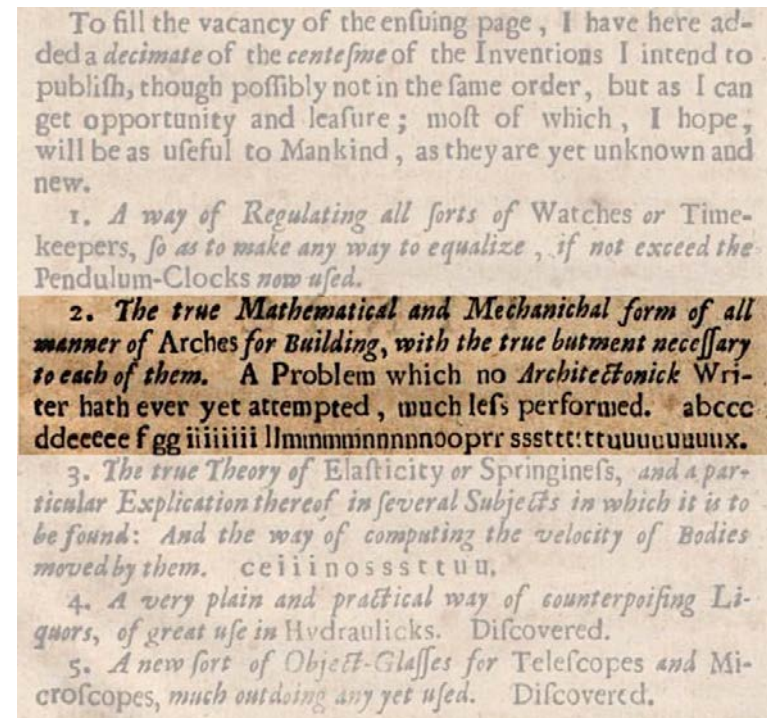


Figura 10: Hooke, R. (1676). Anagrama del modelo de cadena colgante. (Página de libro). En ese momento, los anagramas eran una forma común de reclamar la primera publicación de una idea antes de que los resultados estuvieran listos para publicarse. Recuperado del libro "A description of Helioscopes, And Some other Instruments" p31.

Gaudí utilizó este principio para diseñar *la Capilla de Colònia Güell* y la estructura de la *Sagrada Família* de Barcelona creando un modelo invertido de la capilla usando cuerdas pesadas (Figura 11). Debido al principio de Hooke, las cuerdas se acomodarían siempre en una forma que, cuando se invirtiera, estaría en compresión pura, incluso este modelo de cadena colgante tiene todos los componentes de una ecuación paramétrica. Hay un conjunto de parámetros independientes (longitud de la cadena, posición del punto de anclaje) y hay un conjunto de resultados (los distintos puntos de vértice de los puntos de las cadenas) que derivan de los parámetros usando funciones (Mark Burry. 2007: p.111).

En lugar de calcular manualmente las salidas de la fórmula paramétrica de la curva catenaria, Gaudí podría derivar automáticamente la forma de las curvas catenarias a través de la fuerza de la gravedad que actúa sobre las cuerdas. Este método de cálculo analógico fue ampliado por el arquitecto Frei Otto para incluir, entre otras cosas, superficies mínimas derivadas de películas de jabón y

recorridos mínimos evidenciados a través de lana sumergida en líquido.

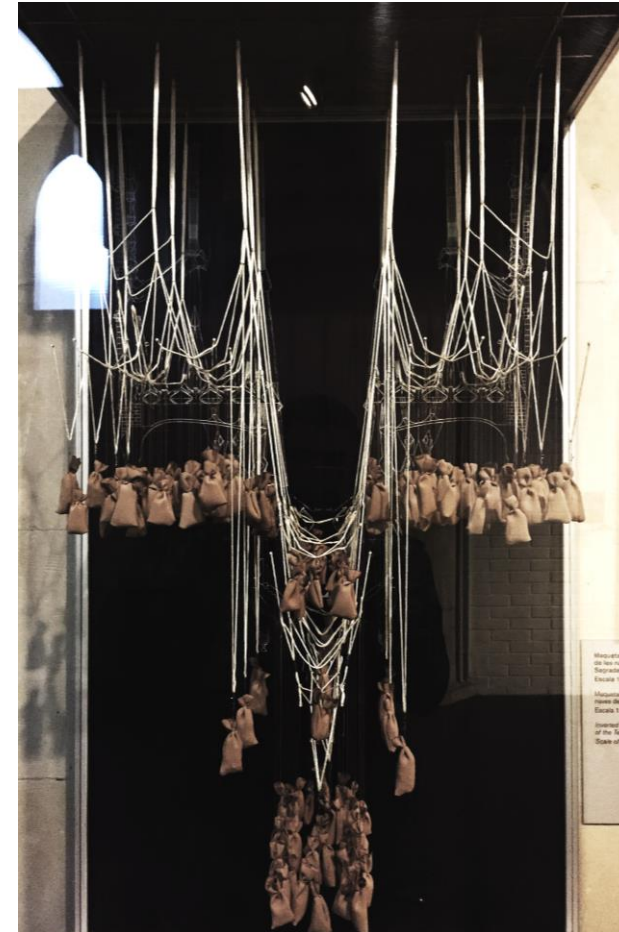


Figura 11: Gaudí, A. Modelo colgante de Gaudí para la Sagrada Família, exposición en el museo en el sótano del edificio. (Fotografía del autor).

En 1996, Otto llama a diseñar con estos modelos: **la búsqueda de formas** el título de su libro con Bodo Rasch titulado "Finding Form:Towards an Architecture of the Minimal". Una frase que pone en relieve la naturaleza exploratoria del modelado paramétrico (Otto, F. Rasch,B. 1995: p43). En el caso de Gaudí, el modelo de la cadena colgante facilita la exploración de la forma, limitando Gaudí a las formas estructuralmente sólidas, y derivando automáticamente estas formas cada vez que quiera modificar los parámetros del modelo. Esto constituye un componente importante del dogma de modelado paramétrico para los arquitectos, a saber, la utilidad de los modelos paramétricos radica en la exploración de los resultados. Entonces aquí la definición matemática original de lo paramétrico permanece. **Estos modelos paramétricos analógicos tienen un conjunto de cantidades expresadas como una función explícita de un número de parámetros independientes, sin embargo, esto se complementa con un énfasis utilitario explorando las posibilidades ofrecidas por el modelo.**

c. El invento del "SKETCHPAD":

La digitalización y el uso de ordenadores facilitó cálculos imposibles con los modelos paramétricos analógicos de Gaudí y Otto. De la misma manera que Gaudí y Otto utilizaron las leyes físicas para acelerar el cálculo de las ecuaciones paramétricas seleccionadas, Ivan Sutherland buscó utilizar ordenadores para acelerar el cálculo de cualquier ecuación paramétrica. Sutherland quería crear un sistema que permitiera "al hombre y al ordenador a conversar" (Wardrip-Fruin, N. Montfort, N. 2003: p.111). En un momento en que los ordenadores funcionaban por lotes y cuando la programación parecía "escribir cartas" (Sutherland, I, E. 2003: p.17), el concepto de un modelo digital interactivo era una visión audaz. Sutherland aprovechó la potencia computacional de la computadora TX-2 (Davis,D. 2013) para crear SKETCHPAD, el primer programa interactivo de diseño asistido por ordenador (Figura 12). Usando un lápiz óptico sobre una pantalla de 7 pulgadas, un diseñador podía dibujar puntos, segmentos de líneas y arcos circulares, cruzar las líneas en un ángulo

concreto y duplicar dibujos conservando una relación con el original, que entonces podrían estar relacionados entre sí con lo que Sutherland llamó restricciones atómicas (Sutherland, I, E. 2003: p.18). El creador de SKETCHPAD nunca usó la palabra “paramétrico” en su tesis, pero las restricciones atómicas tienen todas las propiedades esenciales de una ecuación paramétrica; Cada restricción tiene un conjunto de resultados expresados como una función explícita de una serie de parámetros independientes (Figura 13). A diferencia de los modelos de Gaudí y Otto, estas ecuaciones paramétricas no están ligadas a las leyes físicas, por lo que pueden calcular relaciones como paralelas, ortogonales y coincidentes.

El SKETCHPAD demostró entonces que los ordenadores podrían automatizar tareas repetitivas de diseño y borrador con una fiabilidad y precisión imposible de conseguir con métodos manuales (Sutherland, I. 1963: p20).

Una de las principales novedades de este programa era la comunicación visual entre usuario y ordenador. Como el propio Sutherland dijo:



Figura 12: Sutherland, I. E. (1964). Demostración con el SKETCHPAD en la oficina de MIT. (Fotografía). Recuperado del libro “SKETCHPAD: A man-machine graphical communication system” p8.

“...En el pasado, hemos estado escribiendo cartas más que dialogando con nuestros ordenadores. El sistema del SKETCHPAD, por medio de la eliminación de las declaraciones escritas a favor del dibujo de líneas, abre las puertas a una nueva era de interacción persona-ordenador...”

Ivan Sutherland. (1964) SKETCHPAD: A man-machine graphical communication system.

El SKETCHPAD ofrece una nueva forma de explorar ecuaciones paramétricas. Al igual que con los modelos de Gaudí y Otto, los diseñadores pueden explorar las variaciones modificando los parámetros y haciendo que SKETCHPAD recalculase automáticamente y vuelva a dibujar automáticamente la geometría.

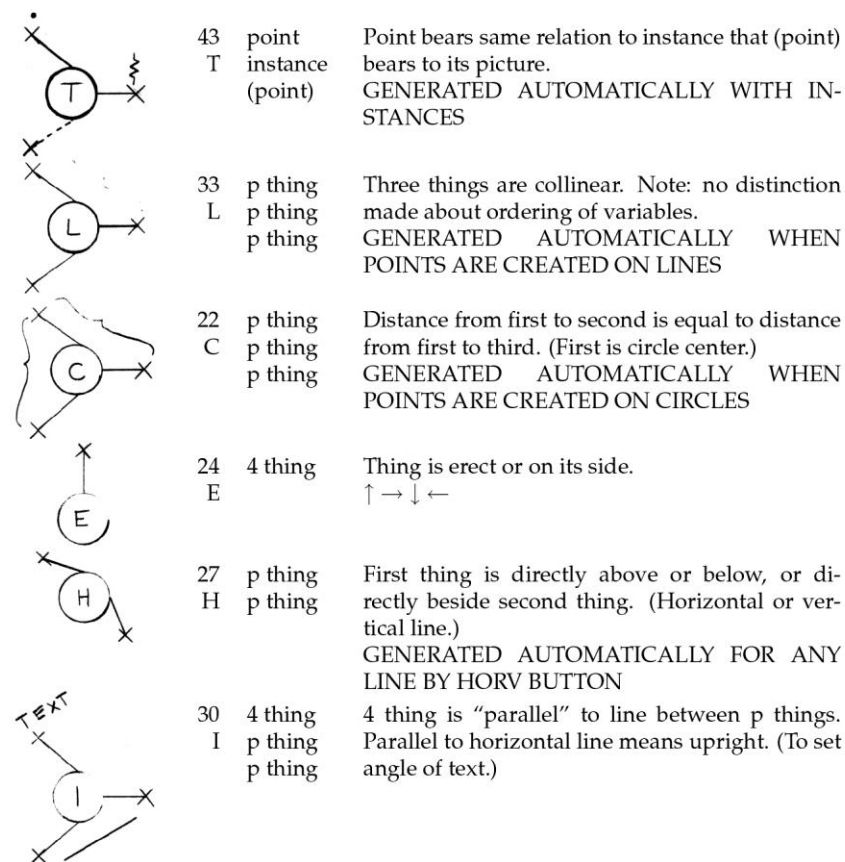


Figura 13: Sutherland (1963, 'Apéndice A'). Diagrama de seis de las diecisiete restricciones atómicas en **Sketchpad**. Cada restricción tiene un conjunto de variables de entrada y una explicación de las funciones explícitas que transforman las variables en las salidas deseadas. (Esquema). Recuperado del libro "SKETCHPAD: A man-machine graphical communication system" p117

Pero los diseñadores también pudieron modificar las relaciones del modelo en el programa, lo que también causaría el recálculo y el rediseño de la geometría. Por lo tanto, el control del diseñador de SKETCHPAD, como con la mayoría del *software* de modelado paramétrico de hoy en día, no es sólo a través de los parámetros del modelo sino también a través de las relaciones subyacentes del modelo. Argumentaremos en breve que la gestión de las relaciones subyacentes de un modelo paramétrico es una fuente de dificultad (no hablada a menudo) en muchos proyectos de arquitectura, pero primero hablaremos brevemente de cómo ha evolucionado el modelado paramétrico en los cincuenta años desde que Sutherland inventó SKETCHPAD.

d. En la era Computacional:

A principios de la década de 1960, el profesor Luigi Moretti anunció la llegada de la arquitectura parametrizada con su proyecto *Estadio N* (Figura 14), aunque inicialmente era teórico, es la primera expresión clara del Parametricismo. Al definir diecinueve parámetros de conducción, entre los cuales el campo de visión de los espectadores y la exposición al sol de las tribunas, Moretti derivó la forma del estadio directamente de la variación de estos parámetros matemáticos (Moretti, L 2002: p21). La forma resultante ofrece el primer ejemplo de esta nueva “estética paramétrica” aunque es sorprendentemente orgánica en su aspecto, al mismo tiempo estrictamente racional como proceso de concepción.

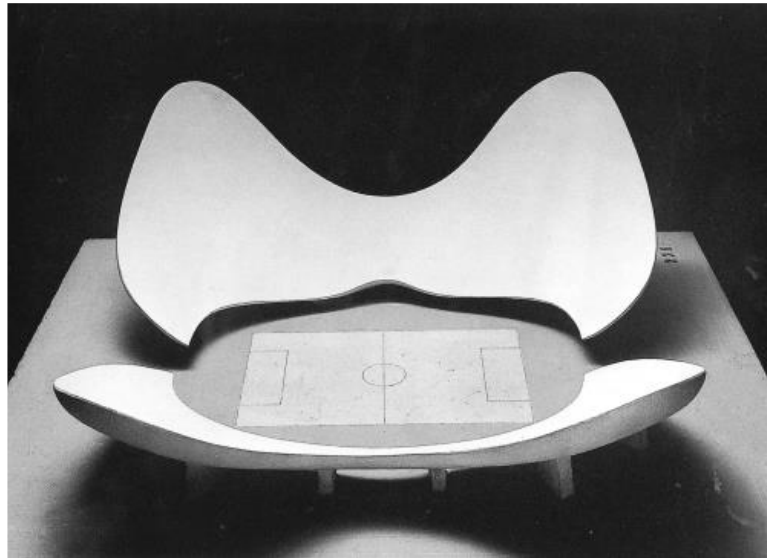


Figura 14: Luigi Moretti (1960). Maqueta del estadio N Expuesta en la exposición de Parametric Architecture en Twelfth Milan Triennial (Fotografía) Recuperado de "Bucci and Mulazzani", p114

Integrada en el corazón del *software*, la noción de "Restricción atómica" es la traducción de Sutherland de la idea de parámetro de Moretti. En un dibujo típico de SKETCHPAD cada geometría se traducía, de hecho, en el lado de la máquina en un conjunto de restricciones atómicas que podemos traducir a parámetros: esta noción es la primera formulación del diseño paramétrico en términos informáticos. Más tarde Samuel Geisberg,

fundador de *Parametric Technology Corporation* (PTC), lanza Pro / ENGINEER en 1988, el primer *software* que da acceso completo a parámetros geométricos a sus usuarios (Teresko, J. 1988: p.67-67). A medida que se lanza el *software*, Geisberg resume perfectamente el ideal paramétrico:

"El objetivo es crear un sistema que sea lo suficientemente flexible para alentar al ingeniero a considerar fácilmente una variedad de diseños. Y el costo de hacer cambios de diseño debería ser lo más cercano posible al cero."

Teresko, J. 1988: p67

Ahora que se construyó el puente entre el diseño y la computación gracias a Sutherland y Geisberg, una nueva generación de arquitectos "conscientes de los parámetros" podría prosperar. A medida que los arquitectos se estaban volviendo cada vez más capaces de manipular su diseño utilizando el representante de los parámetros, la disciplina se convergió lentamente a lo que hoy en día conocemos como el Parametricismo, como lo explicó P. Schumacher.

En su libro *El Parametricismo - Un nuevo estilo global para la arquitectura y el urbanismo*, P.Schumacher demostró explícitamente cómo el Parametricismo era el resultado de una creciente conciencia de la noción de parámetros dentro de la disciplina arquitectónica. (Patrik Schumacher. 2011: p44)

Desde la invención de los parámetros hasta su desarrollo en innovaciones en toda la industria, vemos un conjunto de personas clave que han dado forma a la llegada del Parametricismo. En primer lugar, esta parametrización de la arquitectura se demuestra mejor por el trabajo de la difunta Zaha Hadid (Figura 15). La Sra. Hadid, una arquitecta iraquí formada en el Reino Unido con una base en matemáticas, descubriría su práctica con la intención de unir las matemáticas y la arquitectura a través del diseño paramétrico (Patrik Schumacher. 2014). Normalmente, sus diseños serían el resultado de dominios y matrices codificados en el programa de *software*, que permiten únicos niveles de control sobre la geometría del edificio. Cada movimiento arquitectónico se traduciría en un ajuste

paramétrico, dando como resultado una forma y estilo de construcción.



Figura 15: Hadid,Z. (2018). Hotel Morpheus en Hong Kong. (Fotografía). Recuperado de <http://arquitecturablanca.com>

Hasta la fecha de hoy, los diseños de Hadid son los ejemplos perfectos para la cuantificación del diseño arquitectónico en el abanico del Parametricismo. Sin embargo, su trabajo no hubiera sido posible sin los programas como Grasshopper, un *software* desarrollado por David Rutten en el año 2000, que está diseñado como

una interfaz de programación visual. Grasshopper permite fácilmente crear parámetros de manejo aislados de su diseño, al mismo tiempo que permite ajustarlos de forma sistemática. La simplicidad de su interfaz (Figura 16 y 17) junto con la inteligencia de las características integradas, ha impulsado el diseño de la mayoría de los edificios en todo el mundo y ha inspirado a toda una generación de diseñadores y arquitectos.

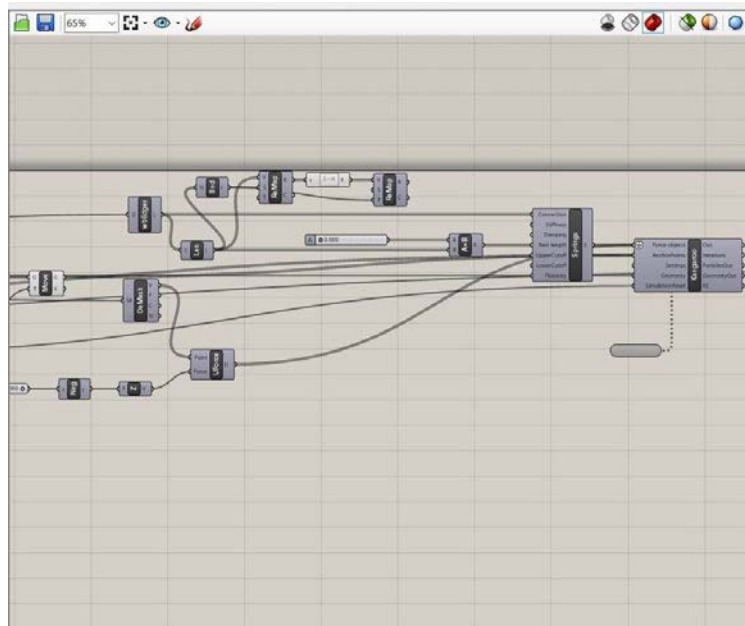


Figura 16: Grasshopper. (2020). Interfaz del Software de Grasshopper. (Pantallazo). Recuperado directamente del software.

Finalmente, más allá de los beneficios a corto plazo de Grasshopper para el diseño de edificios, una revolución más profunda que está impulsada por la parametrización comenzó a principios de los 2000 y que todavía, está en proceso de desarrollo. Es lo que conocemos hoy en día como *Building Information Modeling* o BIM. Dirigido por Philip Bernstein, más tarde vicepresidente de Autodesk, el

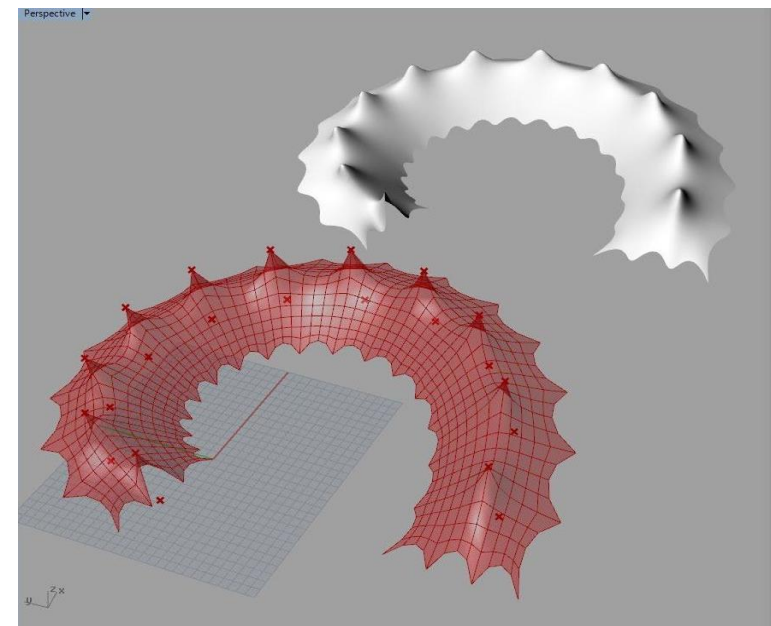


Figura 17: Grasshopper. (2020). Resultado 3D de la geometría paramétrica en Rhinoceros 3D (Pantallazo). Recuperado directamente del software.

nacimiento de BIM ha llevado a la racionalidad y la viabilidad a un nivel completamente nuevo dentro de la industria de la construcción. La idea básica del BIM es que cada elemento, en un modelo edificatorio tridimensional, está en función de parámetros – que el programa los etiqueta como "propiedades" – permitiendo el control de la forma de cada objeto y los documenta de manera sencilla y lógica (Nagy. D, Lau. D, Locke. J, Stoddart. J, Villaggi. L, Wang. R, Zhao. D, Benjamin. D. 2017: p.47-68). Desde Autodesk Revit, el principal software BIM de hoy en día, hasta el SKETCHPAD de Sutherland, vemos un único hilo común: **la utilización explícita de los parámetros como la fuerza motriz del diseño.**

“... El Parametricismo emerge de la exploración creativa de sistemas de diseño paramétrico con vistas a articular una creciente complejidad de procesos sociales e instituciones. Las herramientas de diseño paramétrico no pueden justificar por si mismas el drástico cambio estilístico de la modernidad al Parametricismo. Esto se refleja en el hecho que los arquitectos tardo-modernos están empleando herramientas paramétricas de forma que contribuyan a mantener la estética moderna, por ejemplo, usando el modelado paramétrico para absorber discretamente las complejidades de los edificios. Nuestra sensibilidad Parametricista apunta a la dirección contraria y aboga por un énfasis absoluto en la diferenciación...”

Duo Dickinson. (2018). EntreArchitect Podcast Episodio 229, Artificial Intelligence and the Future of Architecture.

e. **La inevitable transmutación de la tecnología paramétrica:**

El sentido de la complejidad organizada hace que el Parametricismo, como escribe el arquitecto Patrick Shumacher en su artículo *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design*, trabaje de forma similar a los sistemas naturales, donde todas las formas son el resultado de fuerzas que interactúan según leyes. Igual que en los sistemas naturales, las composiciones paramétricas están tan integradas que no pueden ser descompuestas en subsistemas independientes, una gran diferencia en comparación con el paradigma de diseño moderno de clara separación de subsistemas funcionales (Schumacher, P.2014).

Perseguimos el paradigma del diseño paramétrico en toda su amplitud, penetrando en todos los aspectos de la disciplina. La variación sistemática y adaptativa, la continua diferenciación (antes que la mera variedad), y la figuración dinámica y paramétrica se aplican a todos los niveles de

diseño, desde el urbanismo al detalle constructivo, mobiliario interior y el campo de los productos de consumo. “... La arquitectura se encuentra en un punto medio donde reforma la disciplina y adaptando el entorno arquitectónico y urbano al contexto socio-económico en un ciclo de innovación adaptativa...” dice P. Shumacher, y añade “la sociedad de masas caracterizada por unos sencillo y casi universales estándares de consumo ha evolucionado hacia la heterogénea sociedad de la multitud” (Shumacher, P.2011: p43).

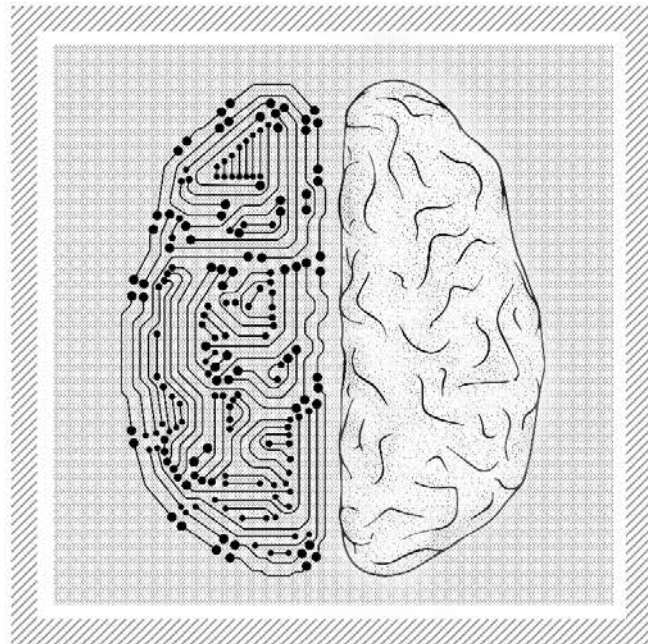
Sólo en la última década el modelado paramétrico ha pasado de ser un truco matemático empleado por Gaudí, Otto, Sutherland y algunos ingenieros, a formar parte de la práctica arquitectónica. Mientras que en matemáticas paramétricas significa un conjunto de cantidades expresadas como una función explícita de un número de parámetros independientes, en la arquitectura esto se complementa con un dogma utilitario para explorar las posibilidades ofrecidas por el modelo. Esta exploración se facilita tanto a través de la modificación de los parámetros

del modelo como a través de la modificación de las relaciones del modelo. En la actualidad, el modelado paramétrico no es el dominio exclusivo de herramientas abiertamente paramétricas como CATIA y Pro / ENGINEER (Woodbury. R, Aish. R, Kilian. A. 2007). Las ecuaciones paramétricas activan silenciosamente muchas herramientas BIM, se manifiestan en lenguajes de *script* de texto y se exponen mediante interfaces basadas en gráficos (Carlos L, M. 2019: p65). El modelado paramétrico está presente, de alguna forma, en la mayoría de los proyectos de arquitectura contemporánea. Es esta rápida expansión en la aplicación del modelado paramétrico lo que, comprensiblemente, ha llevado a alguna confusión sobre su significado.

Sin embargo, en los últimos diez años la parametrización del diseño ha demostrado haber llegado a un límite, tanto en técnica como en concepto. El modelado paramétrico no tuvo en cuenta varios elementos clave para un mejor diseño, como por ejemplo **el efecto compuesto de múltiples variables a la vez, las exigencias de la organización**

y el tipo del espacio en relación a una eficiencia rigurosa y eficiente, la variabilidad de las situaciones y, finalmente, el gasto computacional de las simulaciones.

Independientemente de sus limitaciones técnicas, el diseño paramétrico falla debido a su establecimiento teórico: **la arquitectura solo puede ser el resultado de un número fijo de parámetros, que el arquitecto podría simplemente codificar, como una abstracción lejos de su contexto, su entorno o su historia.** De hecho, el Parametricismo, cuando se aplicó individualmente, demostró descuidar la inmensa complejidad de la planificación del espacio: innumerables parámetros y profundos factores culturales y sociales que participan realmente en el equilibrio urbano (Woodbury. R, Aish. R, Kilian. A. 2007). Esta profunda realidad, que combina sistemáticamente las disciplinas colindantes, puede hoy finalmente abordarse, a medida que nuestra profesión descubre la Inteligencia Artificial.



D. Inteligencia Artificial - IA:

La Inteligencia Artificial es fundamentalmente un enfoque estadístico de la arquitectura. La hipótesis de la Inteligencia Artificial, que combina los principios estadísticos con la computación, es un nuevo enfoque que puede mejorar los inconvenientes de la arquitectura paramétrica, o mejor dicho completarla. "Aprender", tal como lo entienden las máquinas, corresponde a la capacidad de una computadora, cuando se enfrenta a un problema complicado, primero para comprender la complejidad de las opciones que se le presentan y luego para construir una "intuición" resolviendo el problema en cuestión. De hecho, cuando se inventó el concepto de Inteligencia Artificial, John McCarthy, en 1956, lo definió como "usar el cerebro humano como modelo para la lógica de la máquina"

(McCarthy, J. 1990: p102). En lugar de diseñar un modelo determinado, creado para un número definido de variables y reglas, la Inteligencia Artificial permite que la computadora cree parámetros intermedios a partir de la información recopilada de una base de datos común y establecidos por el usuario. Una vez que alcanza la "fase de aprendizaje", la máquina puede generar soluciones no solo respondiendo a un conjunto de parámetros predefinidos, sino creando resultados imitando la distribución estadística de la información que se le ofrece durante la fase de aprendizaje (Cudzik. J, Radziszewski.. K. 2018: p89). Este concepto es el núcleo del cambio del paradigma traído por la Inteligencia Artificial. La independencia parcial de la máquina para construir su propia comprensión del problema propuesto, junto con su capacidad para digerir la complejidad de un conjunto de ejemplos o datos, volcándose a la hipótesis del Parametricismo. Como no todas las reglas y parámetros son resueltos por adelantado por el usuario, la máquina puede revelar inesperadamente fenómenos subyacentes e incluso intentar emular las

soluciones resultantes de manera tridimensional (Negrete Martínez, J. 2016: p.87). Es un salto cuantitativo del mundo de las heurísticas al mundo de las estadísticas: dicho de otra manera, permitir el salto de la toma de decisiones **basada en reglas** a la toma de decisiones **basada en lo estocástico** y fundamentalmente **en las probabilidades estadísticas**.



The Economist. (2016). March of the machines, A special report on Artificial Intelligence. (Portada de Revista). Recuperado de <http://economist.com>

a. Los orígenes e historia del concepto de la inteligencia computacional:

La inserción de la Inteligencia Artificial en el campo arquitectónico fue pronosticada desde su aparición por numerosos teóricos que, antes de nosotros, vieron el potencial de esta nueva tecnología para el diseño arquitectónico. Lejos de la elaboración de algoritmos inteligentes, estos pioneros iniciaron el diseño del sistema especulando sobre su posible potencial. Como URBAN II que fue lanzado por Negroponte y su grupo, la idea de una máquina "asistente" ya estaba en marcha (Negroponte, N. 1970: p77). Siguiendo este concepto de un sistema de "objetivos globales" que permite soluciones locales intuitivas, Negroponte propone un marco de un edificio flexible e introduce un nuevo tipo de máquina de arquitectura personalizada, **un amplificador de diseño** que constituye la interfaz entre la infraestructura y el cambio constante de las necesidades del usuario (Molly Wright Steenson. 2014: p85). URBAN V, una versión posterior, ayuda al diseñador permitiéndole el dibujo dentro de una

cuadrícula, conformando el diseño de las habitaciones definidos como bloques optimizando los volúmenes adyacentes y la iluminación de cada habitación. De hecho, URBAN V distinguió dos capas de información: implícita y explícita. La dimensión implícita permite el manejo y deducción de la máquina, mientras que la explícita es la dimensión establecida por el usuario (Molly Wright Steenson. 2014: p91). Esta dualidad de información en URBAN V es la traducción del concepto de la complementariedad **máquina-humano** deseada por Negroponte. Y es dentro del conjunto de parámetros implícitos, en otras palabras, la "inteligencia", que la Inteligencia Artificial construida dentro de la máquina encuentra su expresión.

Las correcciones propuestas por la computadora al ajustar los parámetros implícitos, aparecerán a los usuarios como sugerencias permitiéndoles experimentar con ellas. Para un conjunto de habitaciones mal ubicadas, por ejemplo, URBAN V notificaría al usuario con un mensaje del tipo: SE PRESENTAN MUCHOS CONFLICTOS.

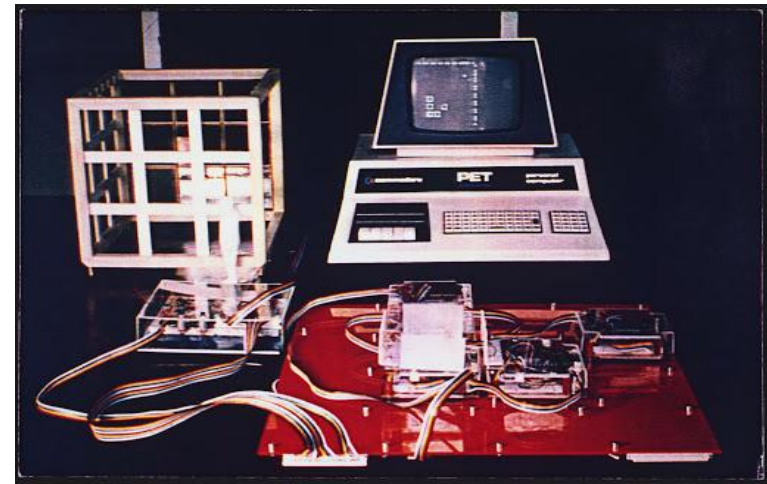


Figura 18: Cedric Price. (1976-1979). La máquina *Generator Project*. (Fotografía). Recuperado de <http://ecasopeoglou.com>

Unos años más tarde, Cedric Price profesor catedrático de Arquitectura en la Universidad de Cambridge, en colaboración con John Frazer y su mujer Julia desarrollaron una interfaz que llamaron el *Generator Project* (Figura 18), un proyecto que será heredero directo de los principios planteados en el proyecto *Fun Palace* de 1964 (Figura 19), y basará su principal originalidad en el desarrollo de un sistema informático propio, un *software*

que permitirá concebir el primer prototipo de **edificio inteligente** en la historia (José Hernández. 2015).

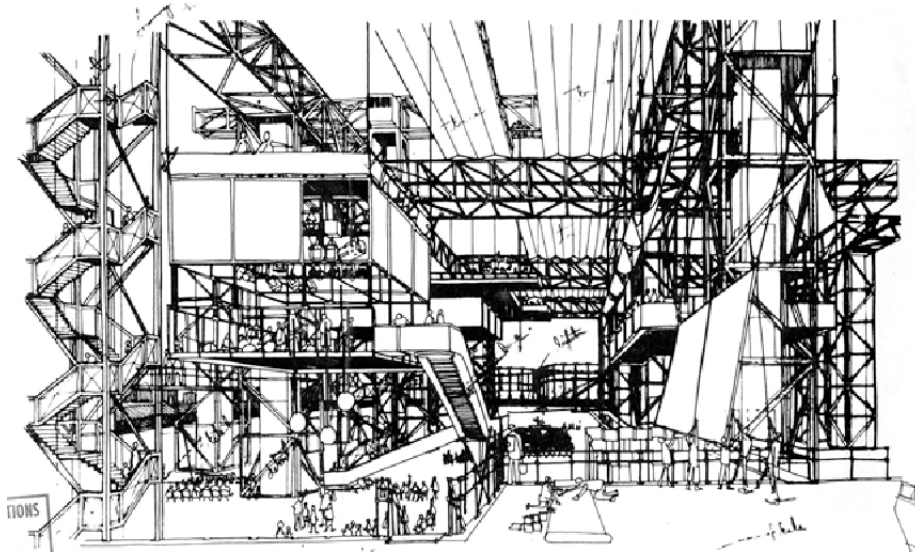
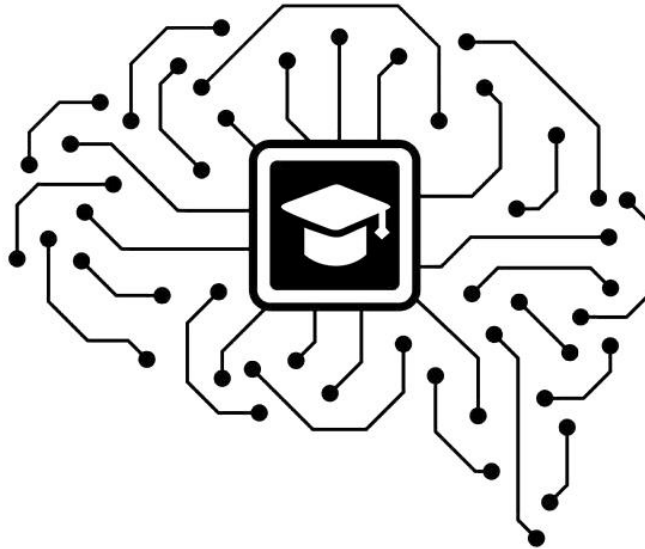


Figura 19: Cedric Price. (1964). *Perspectiva interior del proyecto de, Fun Palace.* (Grabado) Recuperado de "Cedric Price Archives, Canadian Centre for Architecture, Montreal."

Al conocer el trabajo de Negroponte, Price usó su trabajo de *AMG (Architecture Machine Group)* relacionado a la Inteligencia Artificial y lo desarrolló aún más, investigando la idea de un edificio autónomo en constante cambio, que respondería "inteligentemente" y se adaptaría

a los comportamientos de los usuarios. Para Price, bajo el término "inteligente" se encuentra la idea de codificar un comportamiento, de manera que su invento *THE GENERADOR* seguiría para proyectar su primer edificio inteligente que no ha llegado a construirse (José Hernández. 2015). Sin embargo, en el trabajo de Negroponte, o los prototipos de Price, había un problema sin resolver: **la inteligencia real del algoritmo**. Aunque la interfaz y los protocolos estaban en su lugar, la complejidad del proceso real de los algoritmos centrales seguía siendo bastante débil, basada en relaciones heurísticas simples.

b. El razonamiento inferencial y el aprendizaje automático de las computadoras:



El diseño de algoritmos inteligentes, también llamados Inteligencia Artificial, en realidad encontró un interés renovado a principios de los años 80. El repentino aumento en el poder computacional y el gran aumento de los fondos de inversión trajeron de vuelta la cuestión de la inteligencia como concepto al centro de la investigación de Inteligencia Artificial. La clave de este período son dos revoluciones principales que los informáticos llaman: **los sistemas expertos y del motor de inferencia**. El primero corresponde a las máquinas capaces de razonar basadas en un conjunto de reglas, utilizando sentencias condicionales. El segundo, mejor ejemplificado por el *Proyecto Cyc*, desarrollado por *Douglas Lenat*, involucró máquinas orientadas hacia el **razonamiento inferencial**. Usando una base de conocimiento (un conjunto de declaraciones verdaderas), con el razonamiento inferencial una máquina podría deducir la veracidad de una nueva declaración en comparación con su base de conocimiento

ya adquirida. No es hasta principios de los años 90 cuando el campo traería resultados verdaderamente prometedores debido a los avances en la matematización de la Inteligencia Artificial. El advenimiento de un nuevo tipo de modelos definitivamente revelaría el potencial de Inteligencia Artificial, las redes y el aprendizaje automático. A través de la utilización de la red *network*, una máquina puede captar mayores complejidades que los modelos desarrollados anteriormente (Whitby, B. 1996: p19). Dichos modelos pueden ser "entrenados", o en otras palabras ajustados para tareas específicas. Incluso, más interesante es que la idea se haya embarcado en un tipo específico de estos modelos: Las Redes Generativas Antagónicas (RGAs) o en inglés *GAN*. Teorizado al principio por Ian Goodfellow en 2014, investigador de *Google Brain*, este modelo ofrece el uso de redes para generar imágenes, al mismo tiempo que garantiza la precisión a través de un circuito de retroalimentación auto corregible (Ahirwar, K. 2019: p.147) (Figura 20).

La investigación de Goodfellow redefine otra vez la Inteligencia Artificial, a través de una herramienta analítica hacia un agente generador acercando la Inteligencia Artificial a la arquitectura con el dibujo y la producción de imágenes. En general, desde las redes simples hasta las redes RGAs, una nueva generación de herramientas unidas a una potencia computacional cada vez más barata y accesible está posicionando a la Inteligencia Artificial como un medio poderoso y asequible (Patricia Reyes Silva. 2019). Si el trabajo de *Negroponte* y *Price* estuviera casi vacío de una verdadera inteligencia de la máquina, hoy en día el *software* de arquitectura puede finalmente aprovechar esa posibilidad.

Aunque el potencial que representa la Inteligencia Artificial para la Arquitectura es bastante prometedor, aún depende de la capacidad de los diseñadores para comunicar su intención a la máquina. Y como la máquina debe ser entrenada para convertirse en un "asistente" confiable, los arquitectos se enfrentan entonces a dos desafíos principales: Primero, tienen que elegir una

taxonomía sistemática e adecuada, es decir, el conjunto correcto de adjetivos que se pueden traducir en métricas cuantificables para la máquina y, en segundo lugar, deben seleccionar las herramientas adecuadas y entrenarlas en el vasto campo de la Inteligencia Artificial (Mark Farragher. 2019).

Esas dos condiciones previas eventualmente determinarán el éxito o el fracaso del futuro prometedor de la arquitectura habilitada para esta nueva tecnología.

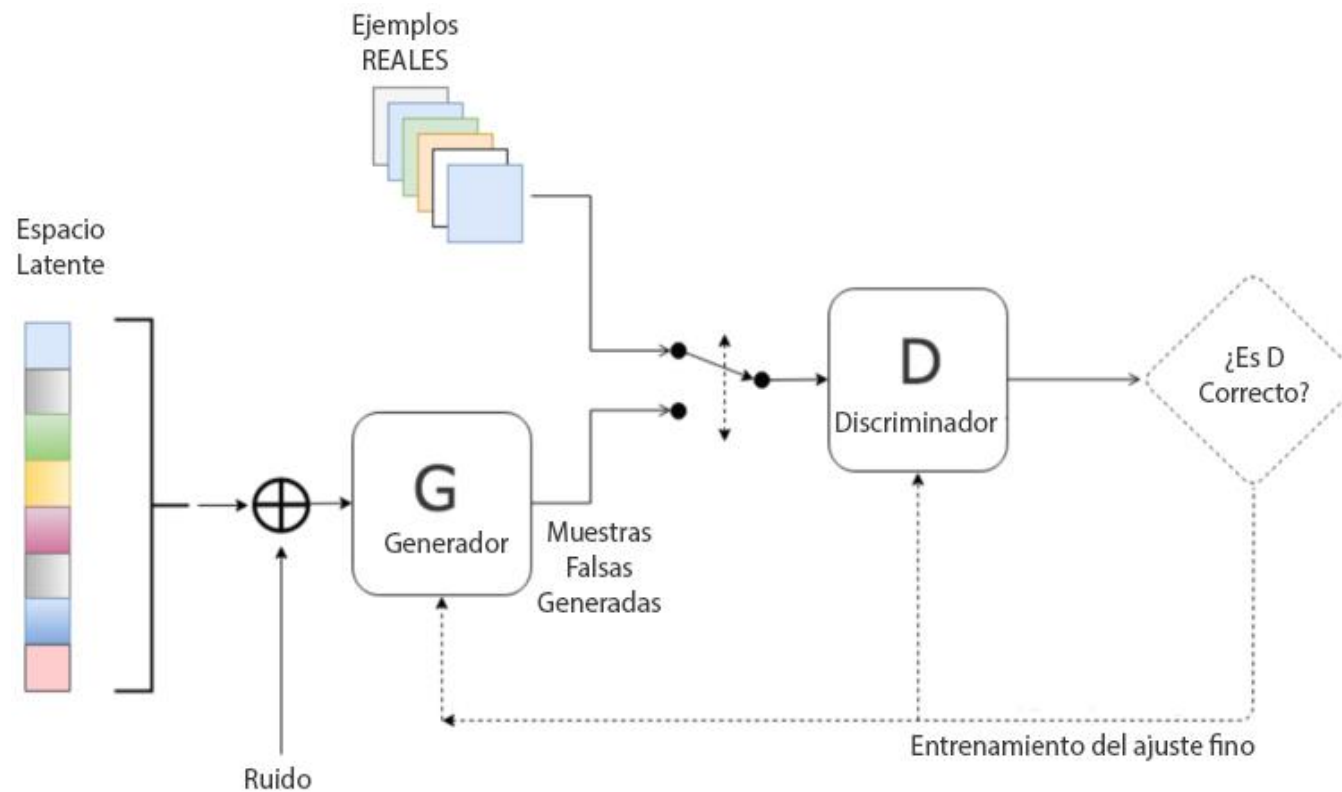
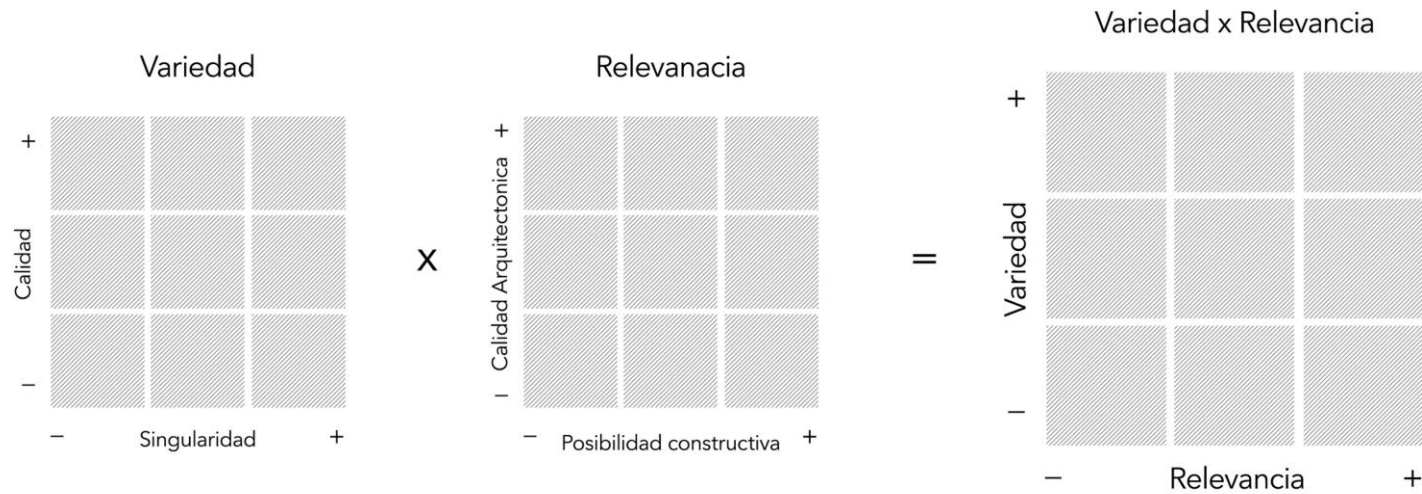


Figura 20: Mark Farragher (2019). Esquema explicativo del funcionamiento de la tecnología de las Redes Generativas Antagónicas (RGAs), en inglés GANs teorizado por Ian Goodfellow, investigador de Google Brain. (Esquema Traducido por el Autor). Recuperado de <http://medium.com>

2. Un proceso en continuo desarrollo:

La Modularidad, el Diseño Computacional, el Parametricismo y la Inteligencia Artificial: esta secuencia de cuatro períodos refleja la cronología del progreso que, paso a paso, ha ido configurando y refinando los medios y métodos del diseño arquitectónicos. Queremos ver, en tal impulso, una forma de *desarrollo continuo* como aquel experimentado en la industria en general, en lugar de una serie de interrupciones no relacionadas que dejan la profesión del arquitecto en una especie de incertidumbre. A partir de ahí, un conjunto apropiado de matrices nos ha ayudado a localizar y representar gráficamente esta dinámica.

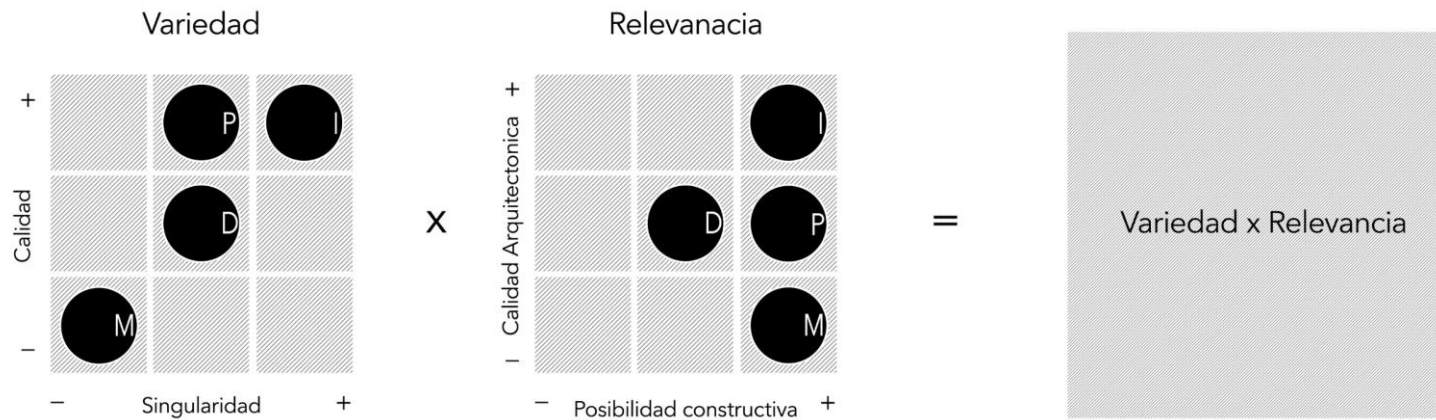
Primero, para demostrar nuestra reivindicación, proponemos que la arquitectura puede entenderse como un proceso de generación de diseños que se puede describir a través de dos dimensiones: por un lado, la diversidad de la producción o **Variedad** y por el otro lado, la aplicabilidad del diseño o **Relevancia**.



La **Variedad** depende de dos métricas subyacentes: la **Calidad** de diseños que mide el volumen de las opciones creadas y *la singularidad de los diseños* que mide su disparidad respectiva.

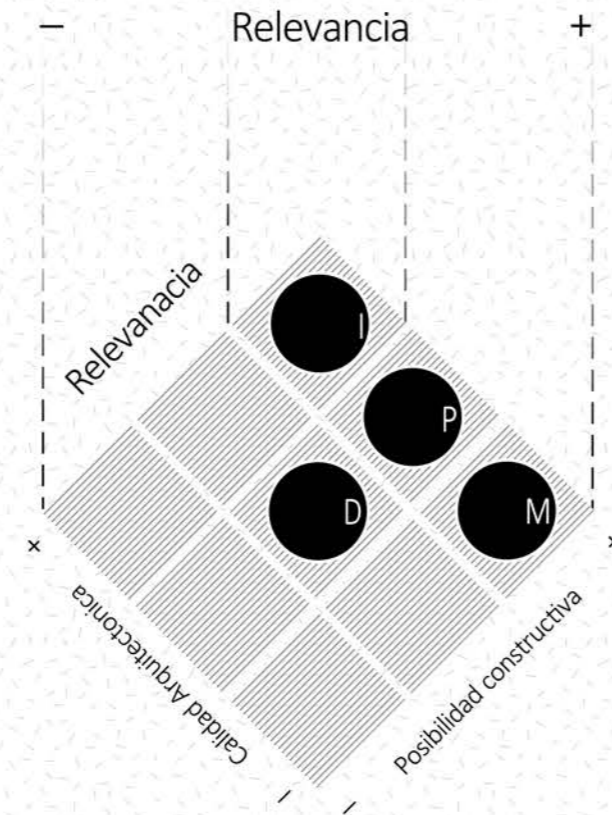
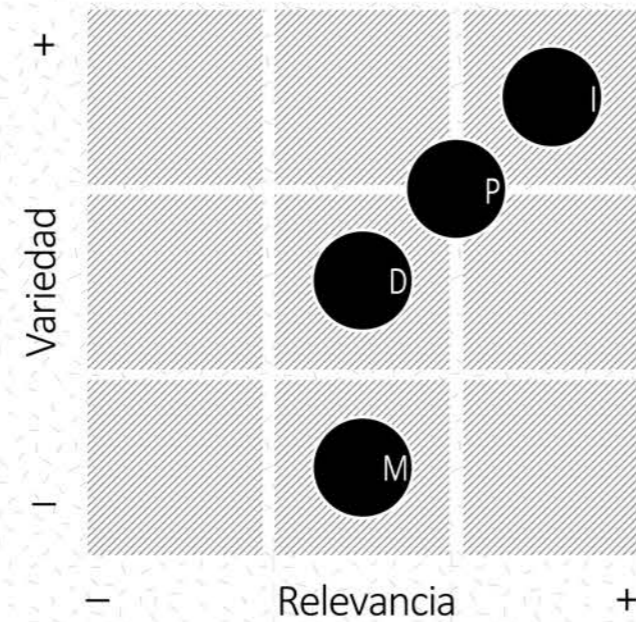
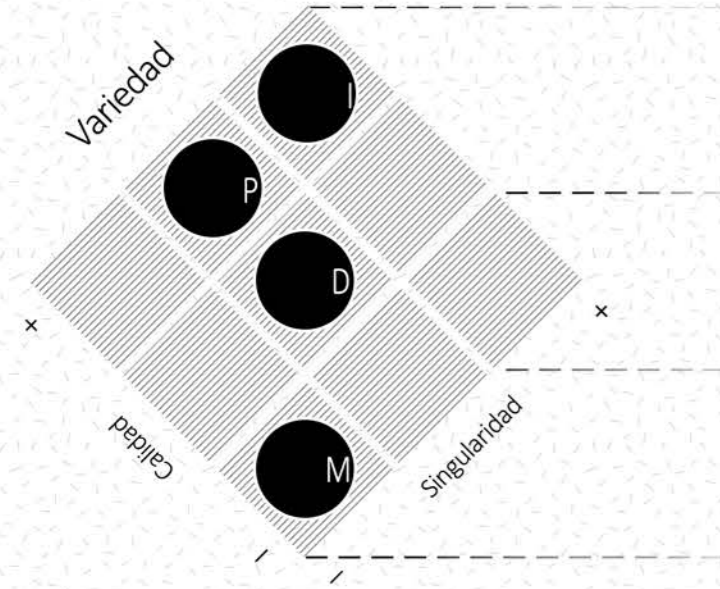
La **Relevancia** agrava *la viabilidad constructiva*, es decir, la viabilidad de los diseños y su *calidad arquitectónica*, incluida la organización óptima del programa, el diseño del espacio y el ajuste contextual.

En última instancia, la combinación de la **Variedad** (Cantidad x Singularidad) y la **Relevancia** (Posibilidad Constructiva x Calidad Arquitectónica) crea un marco que en primer lugar, mapea y contrasta el posicionamiento respectivo de los cuatro períodos que trata este documento: la Modularidad, el Diseño Computacional, el Parametricismo y la Inteligencia Artificial y en segundo lugar, demuestra claramente el punto culminante del progreso que la Inteligencia artificial representa para nuestra disciplina.



Esta visualización direccional y cualitativa, es una cuadrícula potente para representar el concepto que se encuentra en el corazón de este trabajo de fin de grado. En resumen, la dinámica de este continuo desarrollo se ha desencadenado por el límite de cada movimiento en un cierto momento en el tiempo, exacerbado por la competencia de las nuevas tecnologías.

Variedad x Relevancia



Modularidad

Ya que su concepción modular ha demostrado inicialmente ser un sistema altamente restrictivo, que ofrece una baja variedad para las posibles opciones de diseño, aunque esas opciones cumplieran fácilmente con los criterios de viabilidad de la construcción, su calidad arquitectónica se cuestionó desde el principio.

Diseño Computacional

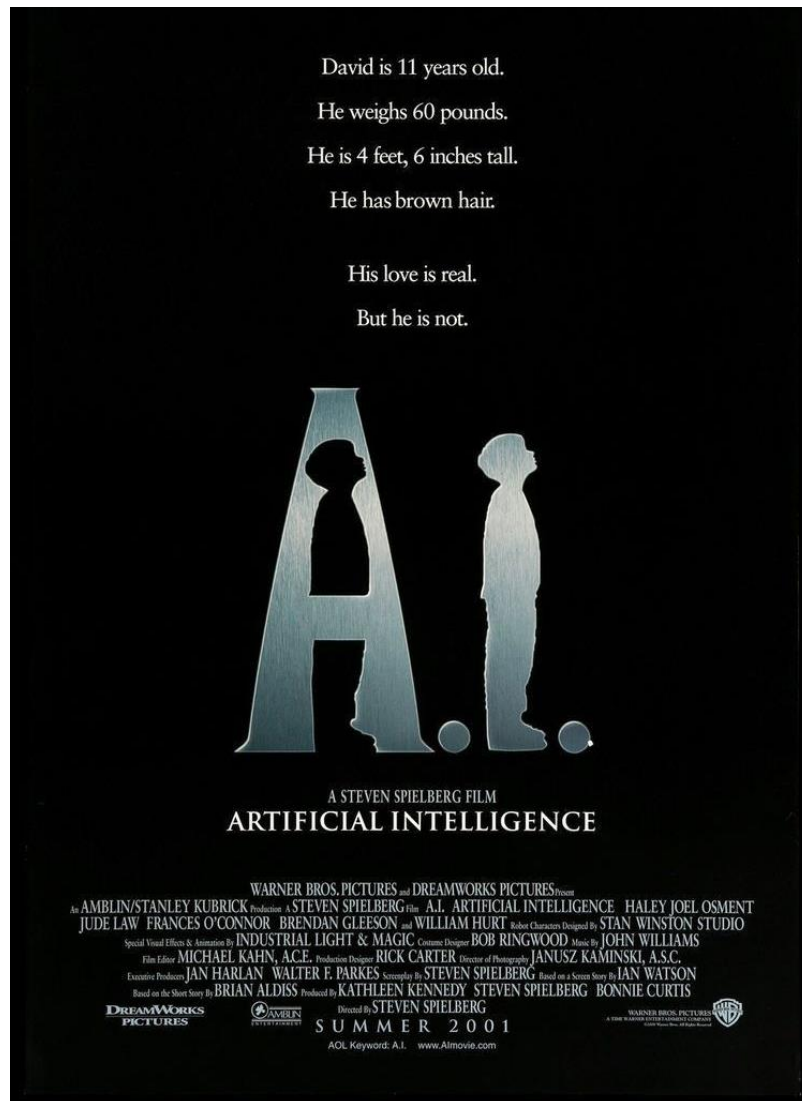
Con el diseño computacional, el diseñador podría finalmente permitirse escapar de la rigidez del diseño, diseñar edificios factibles, con singularidad real. El software de concepción, que permite resolver formas complejas, ayudaría a reducir los costos de concepción y generaría más iteraciones de diseño.

Parametricismo

El parametricismo trajo aún más control sobre las formas orgánicas, aumentando la factibilidad constructiva. Al sistematizar su geometría, edificios enteros podrían ser discretizados en elementos construibles y sistemas de ensamblaje resueltos. El estilo paramétrico, sin embargo, se trivializó rápidamente, generando patrones genéricos y repetitivos que llevaron a una calidad arquitectónica deficiente.

Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial finalmente lleva la promesa de embarcarse en todos los beneficios de las generaciones anteriores, al tiempo que escapa de la legibilidad y el estilo genérico de parametricismo. Es el impulso definitivo hacia una mayor calidad arquitectónica y, para nosotros, el trampolín de una nueva era.



Spielberg, S. (2001). Película: A.I. Inteligencia Artificial. (Portada de Película). Recuperado de <http://netflixmovies.com>

3. El futuro de la Inteligencia Artificial:

Hoy nos enfrentamos a un desafío fantástico: llevar la Inteligencia Artificial al mundo del diseño arquitectónico. Sabemos que tendremos que resistir las ideas preconcebidas y los temores naturales. Dejémoslo claro: **no creo que la Inteligencia Artificial automatice nunca la intuición y conocimientos del arquitecto y sustituya su sensibilidad.** Consideramos que, en el futuro previsto, los seres humanos continuarán utilizando la máquina como su herramienta; no lo contrario. Sin embargo, también estamos convencidos de que el inicio de un "asistente inteligente" impulsado por la Inteligencia Artificial es un cambio de juego que está nuestro alcance. Y, como se ha documentado anteriormente en el contenido de este trabajo, consideramos que encaja conceptualmente en un continuo desarrollo tecnológico, lejos de la extensión simplista de la teoría de la "tabula rasa". Es por eso que estamos bastante seguros de que la comunidad arquitectónica, al mismo tiempo que reconoce el avance radical

que la Inteligencia Artificial representa, estudiará, probará y experimentará sus aplicaciones con más detalle.

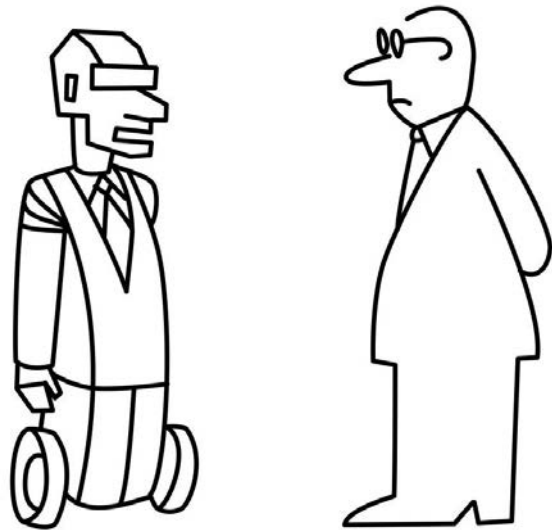
Mientras tanto, es el intento de nuestro trabajo de fin de grado, expresar nuestra creencia de que la Inteligencia Artificial puede equilibrar la eficiencia de diseño y la organicidad de una manera incomparable. Queremos simplemente demostrar aquí que el diseño del espacio impulsado por esta nueva tecnología puede ayudar a combinar de manera óptima las ciencias duras, como la ingeniería, la ciencia matemática y de análisis de datos, y las ciencias blandas, incluido el diseño, la arquitectura y la planificación. En el siguiente capítulo, ofrecemos un marco con la intención de dar forma a este tema desafiante y traer evidencia temprana de su materialidad. Nuestra esperanza es impulsar el debate y establecer la premisa del diseño arquitectónico asistido por una máquina.

En el siguiente punto debatiremos las futuras posibilidades de esta tecnología desafiante trayendo teorías y evidencias de su materialidad.

A. Un Abanico de posibilidades de La Inteligencia Artificial:

A medida que las hebras de la Inteligencia Artificial tocan cada vez más todos los campos en nuestro mundo contemporáneo, puede afectar el entorno construido y también viceversa. Y como lo hemos demostrado en los capítulos anteriores, las herramientas arquitectónicas siempre se ven afectadas por el desarrollo tecnológico de la época que los acompaña. Para poder predecir las posibilidades y sus efectos sobre la arquitectura, deberíamos enfatizar en responder a ¿Cómo la Inteligencia Artificial afecta a la arquitectura y al entorno construido? Hoy en día no vemos los efectos de esta tecnología, pero ¿Qué tipo de suposiciones y sesgos podrían acompañar al aprendizaje automático para el mundo físico? En sentido común, si la tecnología puede reemplazar tareas complejas y incluso con mejor rendimiento ¿Qué roles y trabajos específicos en diseño y construcción podrían ser reemplazados por la automatización? Y si queremos amortiguar los efectos secundarios, salvar a la profesión de la arquitectura

y seguir la inevitable ola del desarrollo tecnológico ¿Qué nuevas formas de alfabetización y criticidad son necesarias en la educación y la práctica de la arquitectura?



***“La buena noticia es: he descubierto ineficiencias.
La mala noticia es que eres uno de ellos.”***

a. ¿Cómo afecta la Inteligencia Artificial a la profesión del arquitecto?

El reconocer que estamos en la era de la información y sus análisis, no es nada nuevo, pero sí la tendencia como el Big Data con conceptos tan interesantes como el Predictive Analytics cuya utilización en la economía ya está en uso hoy en día, o nuevas perspectivas que van mucho más lejos de la analítica y que aúnan inteligencia virtual y artificial (Archipreneur. 2017). Ahora toca comprender un poco más sobre la Inteligencia Artificial y como nos afectará.

Según Douwe Osinga, tendremos una versión mucho más eficaz de lo que tenemos actualmente. Aquí es donde los arquitectos utilizarán la tecnología para optimizar las formas tradicionales de trabajo (Dorsey. J, Luthra. N, Osinga. D. 2019). Siguiendo este argumento, a largo plazo, las profesiones tradicionales desaparecerán, sea un arquitecto, ingeniero, constructor o albañil. Aunque estamos entusiasmados con el desarrollo de este Software

de diseño más potente que calcula las estructuras más complejas sin necesidad de orientación, la realidad puede ser otra.



Figura 50: Conti, M. 2016. Comparación entre el cuerpo de un dron generado por programa de Inteligencia Artificial y la pelvis de una ardilla voladora. Imagen recuperada del video TEDxPolan, de Maurice Conti, 04:02

En segundo lugar, la tecnología solo optimiza o agiliza el trabajo diario del arquitecto y su equipo, sino que, además, desplaza el trabajo profesional. Es decir, aparecerán máquinas o sistemas capaces de operar solos y con pocos usuarios. Duo Dickinson, Arquitecto estadounidense, explica en su entrevista en EntreArchitect,

que hoy en día más del 55 por ciento de los arquitectos no encuentran trabajos en arquitectura, y que, con el avance de la Inteligencia Artificial, será aún más difícil sobrevivir con los métodos tradicionales (Dickinson, D. 2018: EA229). Para Dickinson, el efecto de esta revolución afectará la economía global y especialmente la situación económica de la profesión del arquitecto.

La tecnología no desplaza empleos enteros, sino que cambia las “tareas” que la gente hace en su puesto de trabajo (Dickinson, D. 2018). Por ejemplo, un programa de software CAD no reemplaza al arquitecto, sino que cambia las tareas que realiza. En este punto, es erróneo pensar, que “ser creativos” representa un puesto de trabajo asegurado, pero no todos lo requieren tal y como argumenta Maurice Conti en su conferencia en TEDx que expone varios ejemplos de las increíbles invenciones de la Inteligencia Artificial Intuitiva, que funciona como el concepto darwiniano de la selección natural (Figura 50), y que finalmente tiene similitudes increíbles con la naturaleza (Conti, M. 2016).

Así que el sector de la arquitectura y sus profesionales se tendrán que adaptar a los desafíos de la llamada “Segunda Edad de las Máquinas”, cuando las máquinas no sólo hacen cosas que nosotros programamos, sino que pueden hacer las tareas que nosotros hacemos (Jan Cudzik, Kacper Radziszewski. 2018).

b. ¿Qué medidas deberíamos tomar para salvar a la profesión?

A medida que nos adentramos en un futuro tecnológico artificial y conectado permanentemente a Internet, deberíamos preguntarnos si podría haber nuevas formas de organizar el trabajo profesional, nuevas maneras de compartir y producir conocimientos prácticos en la sociedad, nuevas formas de resolver los problemas importantes que tradicionalmente, solo los profesionales han resuelto (Jan Cudzik, Kacper Radziszewski. 2018). El reto para todo arquitecto será reconocer este cambio de actividad laboral y anticiparse a las nuevas tareas desarrollando las habilidades necesarias que se requieran (Blay Whitby. 1996).

En abril del 2019, la escuela de arquitectura de Columbia organizo una conferencia entre Julie Dorsey, Natasha Luthra y Douwe Osinga donde tratan varias el tema de la Inteligencia Artificial y su aplicación en el dominio de la arquitectura y diseño. De esta manera presentan la

herramienta a los estudiantes y profesionales para sensibilizar y educar de manera que el individuo se adapta al cambio. Al final del debate, todos proponen que el sistema educativo enfatizar a fundirse con el avance tecnológicos: primero creando asignaturas en el plan de estudios de arquitectura, y talleres uniendo estudiantes de ingeniería de la edificación e ingeniería informática. Segundo, fomentar al arquitecto la aceptación de esta herramienta y hacer que sigan la ola del avance tecnológico. En la opinión de Douwe Osinga, si no se adapta la profesión a la nueva herramienta, pueden pasar varias cosas, o que la máquina hace todo el trabajo que hace el arquitecto hoy en día, lo que sería devastador para la profesión, que hacer arquitectura vuelva ser un mecanismo automatizado por la máquina, lo que dejara al arquitecto sin trabajo (Dorsey. J, Luthra. N, Osinga. D. 2019).

Sin duda deberíamos tomar este tema en serio, ya que se advierte de la peligrosidad de la situación, haciendo que la transición revolucionaria pase con seguridad y suavidad sin generar muchos daños económicos y sociales.

“...El terror es que la inteligencia artificial se convierte en su propio sistema en el que ni siquiera piensa en contratar un arquitecto para crear un almacén, por lo que va a una oficina de ingeniería, tienen un programa BIM, usted elige del catálogo donde hay 17 cosas estilísticas que tienes en los 47 diseños programáticos disponibles y luego lo aplicas al sitio, y el ingeniero técnico del sitio dice que vamos a tener que reducir de piso y quizás bajar de altura. Luego tenemos que hacer que el muelle de carga funcione de esta manera y terminó teniendo este ejercicio de resolución de problemas, que es fantástico para muchos edificios y completamente equivocado para algunos edificios, para el futuro de nuestra cultura...”

Duo Dickinson. 2018. Artificial Intelligence and the Future of Architecture. EntreArchitect Podcast Episodio 229

V. DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIÓN:

Hoy nos enfrentamos a un desafío fantástico: llevar la Inteligencia Artificial al mundo del diseño arquitectónico. No hay duda de que esta tecnología nunca podrá automatizar la intuición y la sensibilidad del arquitecto, porque el ser humano utiliza las máquinas como herramienta y no lo contrario. Sin embargo, el beneficio de un asistente inteligente está a nuestro alcance y debe ser cuidadosamente estudiado, probado y experimentado antes de su uso.

Además, la Inteligencia Artificial no es simplemente el resultado de una interrupción repentina, sino que es el punto culminante de más de 70 años de desarrollo, invenciones e innovaciones. Como la Inteligencia Artificial puede equilibrar la eficiencia y la calidad orgánica al mismo tiempo que proporciona una gran variedad de opciones de diseño relevantes, vemos en ella la posibilidad de obtener magníficos resultados, que

complementarán nuestra práctica y abordarán algunos puntos ciegos de nuestra disciplina. Lejos de pensar que la Inteligencia Artificial como un nuevo dogma en la arquitectura, concebimos este campo como un nuevo desafío, lleno de potencial y promesas que cambiarán cada vez más la percepción de los arquitectos, la manera de construir y diseñar nuevos edificios y ciudades como nunca lo habríamos imaginado.

VI. BIBLIOGRAFÍA:

Documentos y Artículos:

1. Andrea Gleiniger & Georg Vrachliotis. (2010). *Code, Between Operation & Narration*. Gropius' Question or On Revealing and Concealing Code in Architecture and Art. Birkhauser, Zürich. pp. 75-90.
2. Andrea Gleiniger, Georg Vrachliotis. (2012). *Complexity: Design Strategy and World View*. Birkhauser. Walter de Gruyter.
3. Andrew Witt. (2016). *Cartogramic Metamorphologies ; or, Enter the RoweBot*. Anyone Corporation. Log No. 36. ROBOLOG. pp115-124. DOI: 10.2307/26323701
4. Archigram Group. (1999). *Archigram*. Princeton Architectural Press.
5. Archipreneur. (2017). *Architecture meets Artificial Intelligence: How CoPlannery Brings AI to the AEC Industry*. <http://archipreneur.com>
6. Blay Whitby. (1996). *Reflections on Artificial Intelligence*. Intellect Books.
7. Carlos L. Marcos. (2018). *Graphic Imprints: The Influence of Representation and Ideation Tools in Architecture*. Springer.
8. Cedric Price. (1981). *Schemes: Generator, City of the Future, Domain, Button Hole, Berlin 145*. The Galleries.
9. Chaillou Stanislas. (2020). *ArchiGAN: Artificial Intelligence x Architecture*. Architectural Intelligence. Springer Nature. Singapore. DOI 10.1007/978-981-15-6568-7_8
10. Christina Nguyen, Luc Wilson. *The Architecture Machine Machine*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, and London, England.
11. Christopher Alexander. (1964). *A Pattern Language, Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

12. Daniel Cardoso Llach. (2011). *Inertia of an Automated Utopia: Design Commodities and Authorial Agency 40 years after "The Architecture Machine"*. pp. 39-44.
DOI 10.1162/thld_a_00158
13. Daniel Davis. (2013). *A History of Parametric*.
<http://danieldavis.com>
14. Danil Nagy, Damon Lau, John Locke, Jim Stoddart, Lorenzo Villaggi, Ray Wang, Dale Zhao, David Benjamin. (2017). *Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning*. The Living. Autodesk Studio.
15. Divya Sharma, Nitin Gupta, Chiranjoy Chattopadhyay, Sameep Mehta. (2017). *DANIEL: A Deep Architecture for Automatic Analysis and Retrieval of Building Floor Plans*. IBM Research, IIT Jodhpur. DOI: 10.1109/ICDAR.2017.76
16. Donald M. Snow. (1995). *The Shape of the Future: The Post-cold War World*. M.E. Sharpe. Political Science.
17. Eliecer Gómez. (2010). *Impacto de la Tecnología en la Arquitectura*. <http://arquitectology.blogspot.com>
18. Eric Baldwin. (2019). *La inteligencia artificial puede estimar niveles de obesidad de un barrio al analizar sus edificios*. Plataforma Arquitectura. <http://plataformaarquitectura.cl>
19. Fernando Marson, Soraia Raupp Musse. (2010). *Automatic Real-Time Generation of Floor Plans Based on Squarified Treemaps Algorithm*. PUCRS DOI: 10.1155/2010/624817
20. Frei Otto, Bodo Rasch. (1995). *Finding form: Towards an architecture of the Minimal*. Axel Menges.
21. Frei Otto, Bodo Rasch. (1996). *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. Edition Axel Menges GmbH.
22. Georg Trogemann, Andrea Gleiniger, Georg Vrachliotis. (2010). *Code and Machine: Between Operation and Narration*. Context Architecture. Birkhauser. Basel. pp. 41-53.
23. Hanan Samet, Aya Soffer. (1994). *Automatic Interpretation of Floorplans Using Spatial Indexing*. University of Maryland.
24. I. Scott MacKenzie. (2012). *Human-Computer Interaction: An empirical Research Perspective*. Newnes.

25. Ivan Edward Sutherland. (2003). *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. Technical Report N.574. Cambridge University, Computer Laboratory. UK.
<http://cl.cam.ac.uk>
26. J.D & E.S Dana. (1839). *The American Journal of Science, Volume 33*.
27. Jan Cudzik, Kacper Radziszewski. (2018). *Artificial Intelligence Aided Architectural Design*. Gdansk University of Technology. Poland.
28. John McCarthy. (1990). *Formalizing Common Sense: papers*. Stanford University. Ablex Publishing Corporation. Norwood, New Jersey.
29. John von Neumann. (1955). *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press.
30. Jon Arteta Grisaleña. (2017). *Breve Historia de la arquitectura Digital. Repaso Histórico y Reflexiones sobre la Relación entre la Arquitectura y las Herramientas Digitales* (Tesis). Extracto de Tesis Doctoral: "El Paradigma de la Complejidad en el Diseño Arquitectónico y Urbano"
31. José Hernandez. (2015). *Del Fun Palace al Generator: Cedric Price y la concepción del primer edificio inteligente*. ARQ (Santiago).
DOI 10.4067/S0717-69962015000200007
32. José Negrete Martínez. (2016). *Inteligencia Artificial, ¿Cuál es el estabón perdido en nuestra Ciencia de lo Artificial?*. Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM. México. DOI 10.4114/ia.v18i56.1123.
33. K. G. Pontus Hultén. (1968). *The machine, as seen at the end of the mechanical age*. The Mueseum of Modern Art (MoMA). New York Graphic Society. Greenwich, Conn.
34. Kailash Ahirwar. (2019). *Generative Adversarial Networks Projects: Build next-generation generative models using TensorFlow and Keras*. Packt Publishing Ltd.
35. Kathleen M. O'Donnell. (2018). *Firm Management: Embracing Artificial Intelligence in Architecture*. AIA Press.
<http://aia.org>
36. Kelvin Lui, Jeff Karmioli. (2018). *AI Infrastructure Reference Architecture*. IBM Systems. 87016787USEN-00

37. Kenneth Frampton. (2009). *Historia crítica de la arquitectura moderna*. GG. Estudiopaperback.
38. Le Corbusier. (1950). *Le Modulor : L'Architecture d'aujourd'hui*. Boulogne
39. Leonardo Benevolo. (2000). *Historia de la arquitectura moderna*. Editorial Gustavo Gili, S.L
40. Lluís-Pere de las Heras, Sheraz Ahmed, Marcus Liwicki, Ernest Valveny, Gemma Sánchez. (2013). *Statistical segmentation and structural recognition for floor plan interpretation. Notation invariant structural element recognition*. Barcelona, España. DOI 10.1007/s10032-013-0215-2.
41. Llus-Pere de las Heras. (2014). *Relational Models for Visual Understanding of Graphical Documents. Application to Architectural Drawings* (Tesis Doctoral). Universitat Autònoma de Barcelona.
42. Loretta Lorance. (2004). *Building Values: Buckminster Fuller's Dymaxion House in Context*. City University of New York.
43. Ludger Hovestadt. (2012). *Beyond the Grid – Architecture and Information Technology: Applications of a Digital Architectonic*. Birkhauser. Walter de Gruyter.
44. Luigi Moretti, Federico Buxxi, Marco Mulazzani. (2002). *Luigi Moretti: Works and Writings*. Princeton Architectural Press.
45. Manuel Silva Suárez. (2004). *Técnica e ingeniería en España: El Ochocientos: de los lenguajes al patrimonio*. Universidad de Zaragoza.
46. Mark Burry. (2007). *Gaudi Unseen: Completing the Sagrada Familia*. Jovis. Deutsches Architekturmuseum.
47. Mark Farragher. (2019). *Create Any Image with C# And A Generative Adversarial Network*. <http://medium.com>
48. Mohamed-Sherif Tawfik El-Attar. (1997). *Application Of Artificial Intelligence In Architectural Design* (Tesis Doctoral). Al-Azhar University. Cairo, Egypt.
49. Molly Wright Steenson. (2014). *Architecture of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, And Nicolas Negroponte & MIT's Architecture Machine Group* (Tesis). Faculty of Princeton University.

50. Molly Wright Steenson. (2017). *Architectural Intelligence: How Designers and Architects Create the Digital Landscape*. MIT Press.
51. Nathan Peters. (2018). *Enabling Alternative Architectures: Collaborative Frameworks for Participatory Design*. Harvard GSD Thesis.
52. Nicolas Negroponte. (1969). *Toward a Theory of Architecture Machines*. Blackwell Publishing. Association of Collegiate Schools of Architecture. Journal of Architectural Education. Vol. 23. No. 2. pp. 9-12
53. Nicolas Negroponte. (1970). *The Architecture Machines: Toward a More Human Environment*. MIT Press.
54. Nicolas Negroponte. (1976). *Soft Architecture Machines*. MIT Press.
55. Nicolas Negroponte. (1995). *BEING DIGITAL*. Hodder & Stoughton. London.
56. Noah Wardrip-Fruin, Nick Montfort. (2003). *The New Media Reader*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
57. Nono Martinez Alonso. (2017). *Suggestive Drawing Among Human and Artificial Intelligences*. Harvard GSD Thesis.
58. Patricia Maldonado Reynoso. (1996). *Ser Digital*. México, Océano.
59. Patricia Reyes Silva. (2019). *Generative Adversarial Nets (GAN)*. <http://medium.com>
60. Patrick Hebron. (2017). *Rethinking Design Tools in the Age of Machine Learning*. <http://medium.com>
61. Patrik Schumacher. (2011). *The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture*. John Wiley & Sons.
62. Patrik Schumacher. (2014). *Parametricismo: Un nuevo estilo global para la arquitectura y el urbanismo*. <https://cargocollective.com>
63. Randy Deutsch. (2015). *Data-Driven Design and Construction: 25 Strategies for Capturing, Analyzing and Applying Building Data*. John Wiley & Sons. Wiley. NBBJ
64. Robert Hooke. (1676). *A Description of Helioscopes and Some Other Instruments*. T.R. Astronomical instruments.

65. Roberto Botazzi. (2018). *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design*. Bloomsbury Publishing.
66. Samuel Earnshaw. (1871). *Partial Differential Equations: An Essay Towards an Entirely New Method of Integrating Them*. MacMillan.
67. Sheraz Ahmed, Marcus Liwicki, Markus Weber, Andreas Dengel. (2012). *Automatic Room Detection and Room Labeling from Architectural Floor Plans*. Proceeding of the 10th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems (DAS-2012) p. 339-343.
68. Simon Sadler. (2005). *Archigram: Architecture Without Architecture*. MIT Press.
69. Terence Riley. (2002). *The Changing of the Avant-garde: Visionary Architectural Drawings from the Howard Gilman Collection*. The Museum of Modern Art.
70. Teresko John. (1988). *Making is Simpler*. Industry Week.
71. The Economist. (2016). *March of the machines, A special report on Artificial Intelligence*.

Congresos y Podcast :

72. Julie Dorsey, Natasha Luthra, Douwe Osinga. (2019). *Architecture and Artificial Intelligence*. A conversation on the future of artificial intelligence and its relationship to architecture organized by David Benjamin. Universidad de Columbia. New York. <http://arch.columbia.edu>
73. Lorenzo Villaggi, Danil Nagy. (2017). *Generative Design for Architectural Space Planning*. Autodesk Research. AS124721.
74. Mark R. LePage, Duo Dickinson. (2018). *Artificial Intelligence and the Future of Architecture*. (Podcast) EntreArchitect Episode 229.
75. Maurice Conti. (2017). *The incredible inventions of intuitive AI*. (Conferencia TED). TEDSummit. <http://ted.com>
76. Mohammadi Mehdi, Ala Al- Fuqaha, Jun-Seok Oh. (2018). *Path Planning in Support of Smart Mobility Applications using Generative Adversarial Networks*.

77. Robert Woodbury, Robert Aish, Axel Kilian. (2007). *Some Patterns for Parametric Modeling. Expanding Bodies: Art Cities Environment*. 27th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Halifax, Nova Scotia. pp. 222-229.
78. Sam Harris. (2016). *Can we build AI without losing control over it?* (Conferencia TED). TEDSummit. <http://ted.com>
79. Samuel Dodge, Jiu Xu, Bjorn Stenger. (2017). *Parsing Floor Plan Images*. Arizona State University. Rakuten Institute of Technology. DOI: 10.23919/MVA.2017.7986875.
80. Theodora Vardouli. (2011). *Nicolas Negroponte: An Interview*. Assistant professor: Peter Guo-Hua Fu School of Architecture, McGill.