



Trabajo Fin de Grado

LA REVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ARQUITECTURA: FUNDAMENTOS, DESAFÍOS Y APLICACIÓN

THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVOLUTION IN ARCHITECTURE: FUNDAMENTALS, CHALLENGES AND APPLICATION

Autor

Jorge Clemente Martínez

Director

Iñaki Bergera Serrano

Titulación del autor

Grado en Estudios en Arquitectura

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza

2023



La revolución de la Inteligencia Artificial en Arquitectura

Fundamentos, desafíos y aplicación

Jorge Clemente Martínez

Trabajo de Fin de Grado
Universidad de Zaragoza

Abstract

In a context where technology is advancing by leaps and bounds, the integration of artificial intelligence (AI) in architecture has generated a revolution that redefines traditional design paradigms. However, it also brings with it its lights and shadows. This study seeks to critically and comprehensively analyse how AI is impacting the architectural discipline, exploring both its theoretical and practical implications from its historical origin through its current application to its promising future.

Resumen

En un contexto donde la tecnología avanza a pasos agigantados, la integración de la inteligencia artificial (IA) en la arquitectura ha generado una revolución que redefine los paradigmas tradicionales del diseño. Sin embargo, de la misma manera trae consigo sus luces y sombras. Este estudio busca analizar de manera crítica y exhaustiva cómo la IA está impactando en la disciplina arquitectónica, explorando sus implicaciones tanto teóricas como prácticas partiendo desde su origen histórico pasando por su actual aplicación hasta su prometedor futuro.

9 Introducción

12 Fundamentos

13 ¿Qué es la Inteligencia Artificial o IA?

16 Recorrido histórico

20 Periodo de posguerra
24 Sistemas expertos e inviernos IA
28 La revolución del “deep learning”

34 Hasta la llegada de la IA

38 Sistemas modulares
43 Diseño computacional
48 Parametricismo
52 Inteligencia Artificial

56 Aplicaciones

58 Las posibilidades del diseño generativo
65 Desafíos e implicaciones éticas y profesionales

71 Caso práctico

74 Metodología
76 Propuesta
86 Conclusión

87 Futuro

92 Bibliografía

96 Fuente de imágenes



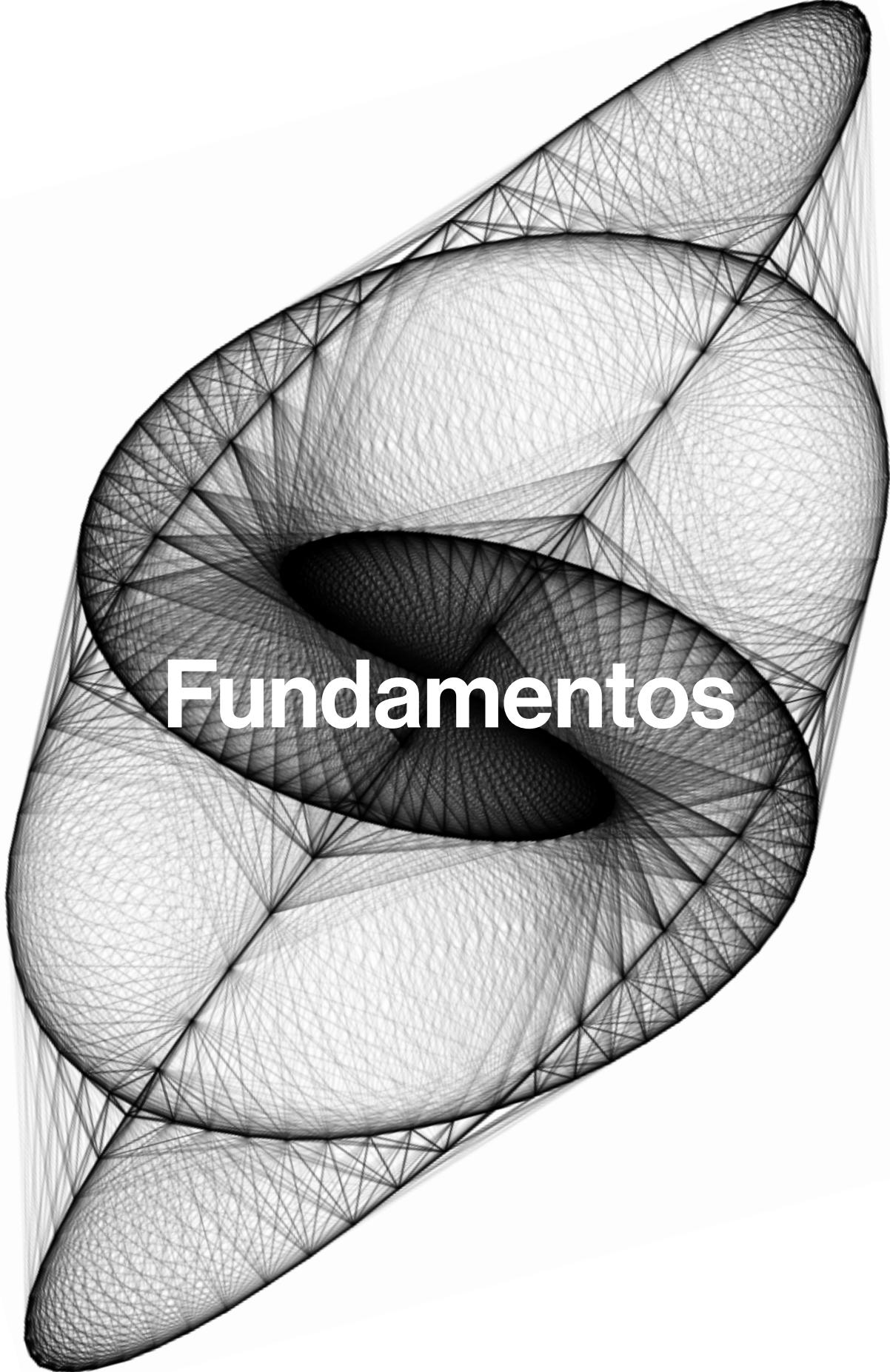
Introducción

Es posible que la presencia de la Inteligencia Artificial (IA) en la arquitectura se encuentre aún en sus inicios. Si la investigación actual constituye un sólido argumento a favor de su posible adopción, también reafirma la importancia del debate en torno a su inicio y su necesaria adaptación para apoyar la agenda arquitectónica.

Desde sus ventajas técnicas inmediatas hasta sus implicaciones culturales a largo plazo, el diálogo de la IA con la arquitectura se desarrolla hoy a múltiples niveles. Para comprender toda la magnitud de este cambio tecnológico, este estudio considera dos ángulos complementarios: historia y aplicación. Al explorar las facetas histórica, experimental y teórica de los inicios de la IA en la Arquitectura, brindo la oportunidad de contemplar tanto la naturaleza tangible como especulativa de este encuentro. Partiendo de una perspectiva histórica, los primeros capítulos sitúan a la IA en la conversación del siglo pasado entre Tecnología y Arquitectura. A continuación, los resultados recientes de la investigación de inteligencia artificial fundamentan la reflexión sobre las aplicaciones y su papel en la Arquitectura. En vista del surgimiento de nuevos sistemas basados en IA como DALL-E o ChatGPT que han roto la barrera entre lo profesional y son usadas por millones de personas a diario trato de explorar el potencial, el impacto y los límites de estas nuevas herramientas basadas

en las posibilidades del diseño generativo, evaluando las oportunidades y amenazas que se avecinan en el ámbito artístico y profesional de la arquitectura. Por último, como demostración del alcance de los nuevos sistemas generativos pongo en práctica todo lo enunciado anteriormente en un ejercicio de diseño proyectual cuyo criterio primordial radica en la preeminencia sustancial de la inteligencia artificial.

Dado que la difusión gradual de la IA en las herramientas y métodos de la arquitectura es una realidad en curso, este trabajo pretende mostrar una instantánea del momento en el que se encuentran, al tiempo que proporcione las explicaciones necesarias para explorar este fascinante tema. Para ello, espero sentar las bases de un intercambio significativo entre ambas disciplinas y desmitificar lo que con demasiada frecuencia parece un laberinto tecnológico borroso. Para terminar, espero desvelar la diversidad y el entusiasmo presentes en el panorama actual. La intersección de la inteligencia artificial y la arquitectura puede ser la fuente de un nuevo impulso para la disciplina, siempre que nuestro trabajo colectivo ayude a enmarcar y desarrollar esta tecnología para que esté realmente al servicio de los arquitectos.

A large, abstract wireframe mesh is centered in the frame. It consists of numerous thin, dark grey lines forming a complex, organic shape that resembles a stylized brain or a network. The mesh is composed of many small triangles and various line segments, creating a sense of depth and structure. The overall shape is roughly spherical and elongated horizontally.

Fundamentos

¿Qué es la IA?

La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática y la ciencia que se centra en la creación de sistemas y programas que pueden realizar tareas que, de otro modo, requerirían la inteligencia humana. La IA busca desarrollar máquinas que puedan aprender, razonar, percibir, planificar, comunicarse y actuar de manera autónoma, imitando algunas de las capacidades cognitivas de los seres humanos.

El objetivo de la inteligencia artificial es diseñar algoritmos y modelos que permitan a las máquinas procesar grandes cantidades de datos, aprender de ellos y tomar decisiones basadas en esos conocimientos. Estas decisiones pueden ser desde acciones físicas (como en robots autónomos) hasta recomendaciones en sistemas de recomendación, clasificación de datos, reconocimiento de voz, procesamiento del lenguaje natural, entre muchos otros campos.

Existen diferentes enfoques dentro de la IA, algunos de los cuales incluyen el aprendizaje automático (machine learning), el aprendizaje profundo (deep learning), la visión por computadora (computer vision), el procesamiento del lenguaje natural (natural language processing), entre otros.

¿Qué es la IA?

1. Acceso QR a ChatGPT



La inteligencia artificial ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, y su aplicación se ha extendido a una amplia variedad de industrias, incluyendo la medicina, la robótica, los servicios financieros, la seguridad, el transporte, los videojuegos y muchos más. Tanto es así que los párrafos anteriormente enunciados han sido generados por Inteligencia Artificial (Fig 1). Más concretamente a través de ChatGPT¹, un chatbot desarrollado por Open AI que genera respuestas a las preguntas e indicaciones de los usuarios. Según lo definido por el propio sistema de ChatGPT:

2. Respuesta generada por ChatGPT

“Nuestra IA está entrenada en un conjunto de datos de texto de Internet y es capaz de generar texto similar al humano en respuesta a las indicaciones dadas. Se puede utilizar para una variedad de tareas de procesamiento de lenguaje natural, como la traducción de idiomas, el resumen de texto y la respuesta a preguntas”².

Las respuestas a ambos interrogantes, “¿Qué es la inteligencia artificial?” o “¿Qué es ChatGPT?” podrían a primera vista presentar un carácter muy general, poco conciso, o inclusive inexactitud; no obstante, es importante resaltar que estas respuestas han sido generadas en un lapso inferior a los diez segundos. En contraposición, la elaboración de una respuesta a dichas cuestiones en ausencia de un previo conocimiento habría llevado, con toda probabilidad, un esfuerzo significativamente mayor. Tal respuesta habría exigido la exploración de varias páginas webs, la consulta de uno o más libros, o incluso la búsqueda de opinión experta en el dominio. Sin embargo, en cuestión de segundos es capaz de generar infinitas respuestas para una misma pregunta. La síntesis de millones de datos recogidos en un “chat”. Este ejemplo muestra uno de los diversos campos de la aplicación de la inteligencia artificial, pero la aplicaciones en este ámbito es amplio y se encuentra en constante expansión, presentando una diversidad creciente en términos de sus aplicaciones y modalidades interactivas.

¿Qué es la inteligencia artificial?



La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática y la ciencia que se centra en la creación de sistemas y programas que pueden realizar tareas que, de otro modo, requerirían la inteligencia humana. La IA busca desarrollar máquinas que puedan aprender, razonar, percibir, planificar, comunicarse y actuar de manera autónoma, imitando algunas de las capacidades cognitivas de los seres humanos.



El objetivo de la inteligencia artificial es diseñar algoritmos y modelos que permitan a las máquinas procesar grandes cantidades de datos, aprender de ellos y tomar decisiones basadas en esos conocimientos. Estas decisiones pueden ser desde acciones físicas (como en robots autónomos) hasta recomendaciones en sistemas de recomendación, clasificación de datos, reconocimiento de voz, procesamiento del lenguaje natural, entre muchos otros campos.

Existen diferentes enfoques dentro de la IA, algunos de los cuales incluyen el aprendizaje automático (machine learning), el aprendizaje profundo (deep learning), la visión por computadora (computer vision), el procesamiento del lenguaje natural (natural language processing), entre otros.

La inteligencia artificial ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, y su aplicación se ha extendido a una amplia variedad de industrias, incluyendo la medicina, la robótica, los servicios financieros, la seguridad, el transporte, los videojuegos y muchos más. Sin embargo, también ha planteado cuestiones éticas y sociales, ya que su adopción plantea desafíos relacionados con la privacidad, la seguridad y el impacto en el empleo y la sociedad en general.

Regenerate

Send a message

Respuesta generada por (1)
"ChatGPT"



The background consists of a complex, abstract pattern of concentric, wavy, black lines. These lines are densely packed in some areas and more spaced out in others, creating a sense of depth and motion. The overall effect is reminiscent of a stylized globe or a microscopic view of a cellular structure.

Recorrido histórico

“Las historias sobre la creación de máquinas con cualidades humanas han sido durante mucho tiempo una provincia fascinante en el reino de la ciencia ficción; sin embargo, estamos a punto de presenciar el nacimiento de una máquina así - una máquina capaz de percibir, reconocer e identificar su entorno sin ningún tipo de entrenamiento o control humano”.

1. F. Rosenblatt. "The Design of an Intelligent Automaton", ONR Research Reviews, 1958.

Estas palabras¹ de 1958 del psicólogo estadounidense Frank Rosenblatt son un testimonio elocuente del optimismo radical de los primeros pioneros de AI. Sin embargo, casi 70 años después, la visión de Rosenblatt sigue desarrollándose en todo el mundo. En retrospectiva, estas afirmaciones son un recordatorio sorprendente de que la historia de la informática dista mucho de ser un viaje lineal. Desde los primeros días de AI en los años 40-50 hasta la revolución del deep learning, esta tecnología es el resultado de una lenta sedimentación de hipótesis científicas y avances tecnológicos. Lejos de la investigación aislada de los años 50, la AI se relaciona hoy en día con innumerables campos. La arquitectura no es una excepción. Por ello, para enmarcar sus posibles aportaciones a la disciplina es preciso comprender primero, aunque sea de forma rudimentaria, sus primeros desarrollos, el desafío al que se enfrentó por el camino y un breve recordatorio de su adopción concomitante en otras industrias.

1

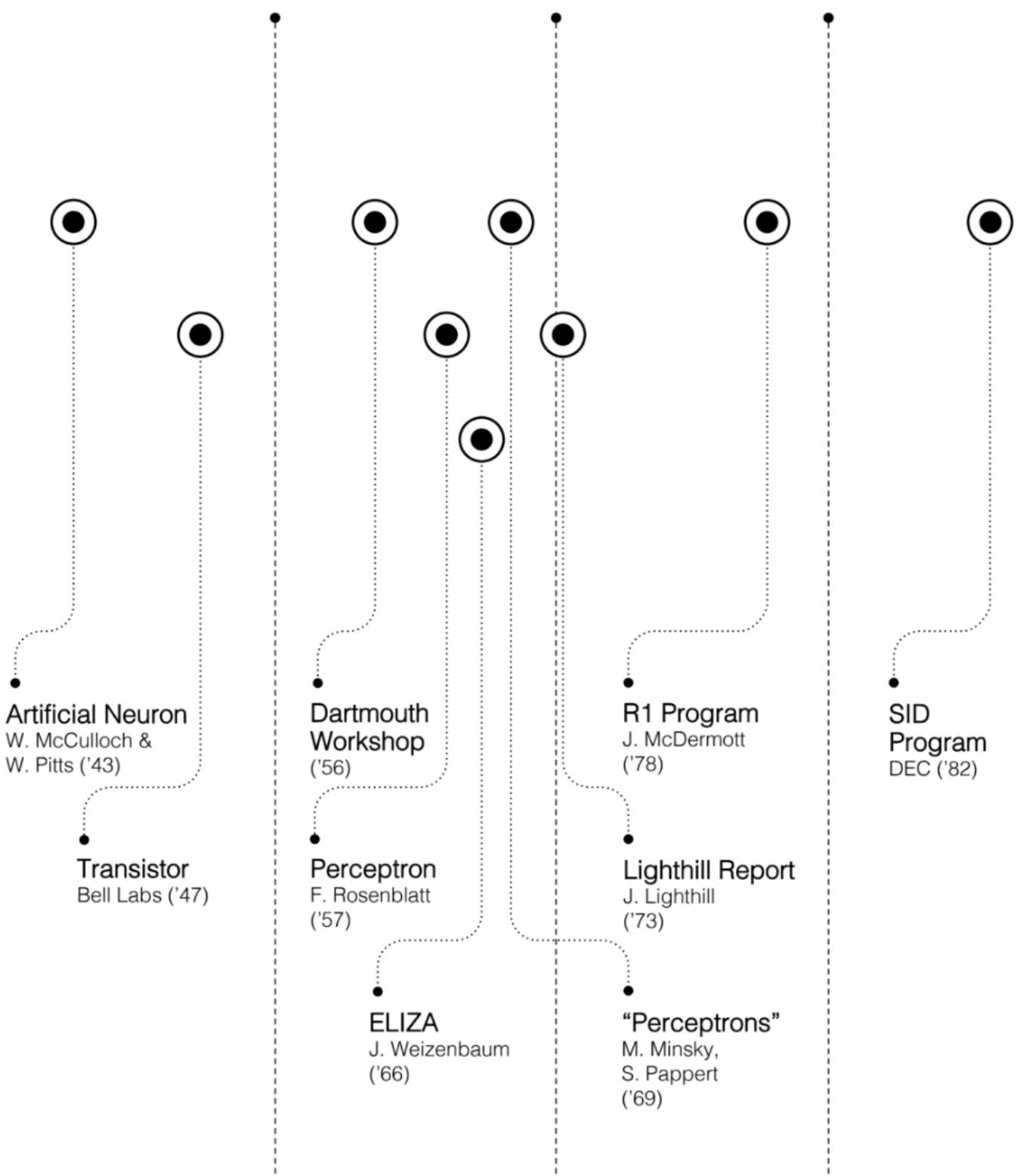
Timeline histórico de la Inteligencia Artificial, desde el periodo de posguerra hasta la revolución del "Deep Learning". p. 14-15, Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice, de Stanislas Chaillou.

Post-War Period

First AI Winter

Expert Systems

1950s 1970s 1980s



Second AI Winter

1990s



CYC Program
D. Lenat
('84)

"Some Expert
Systems Need
Common Sense"
J. McCarthy
('84)



DeepBlue vs
Kasparov
('97)



Stanley at
DARPA
Challenge
('05)

Deep Learning Revolution

2010s



AlphaGO vs
Sedol
('16)

Generative
Adversarial Net
I. Goodfellow
('14)

AlexNET
A. Krizhevsky
('12)

Periodo de posguerra

2. W. McCulloch & W. Pitts,
"Un cálculo lógico de las ideas
inmanentes a la actividad
nerviosa Boletín de matemáticas
Biofísica 5, pp 115-133
1943.

3. Sitio web de los Laboratorios
Bell, "El Premio Nobel de
Física" Fuente: <https://www.bell-labs.com/about/awards/1956-nobel-prize-physics>.

2
J. Bardeen, W. Shockley, W.
Brattain y el transistor en Bell
Labs en 1948.

3
Frank Rosenblatt y Mark I
Perceptron.

La década de 1940 se considera la encrucijada de múltiples avances significativos, que en conjunto proporcionan los cimientos de nuestra definición contemporánea de IA. En 1943, los científicos estadounidenses Warren McCulloch y Walter Pitts establecieron una primera formulación matemática de la neurona biológica². Aunque teórico, este modelo proporcionó a la comunidad científica de la época una primera definición de "red artificial". En pocas palabras, su modelo describía el cálculo realizado por una neurona para procesar un flujo de información. Este logro pronto se emparejaría con otro experimento procedente del Bell Lab, una institución de investigación dirigida por la empresa de telecomunicaciones estadounidense AT&T. En este laboratorio, en 1947, John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Bradford Shockley idearon juntos un nuevo tipo de dispositivo semiconductor: el transistor³ (Fig. 2). En pocas palabras, esta máquina podía modular una señal eléctrica atenuándola o amplificándola. Esta nueva generación de hardware pronto permitió materializar modelos teóricos como los de McCulloch y Pitts mediante prototipos que funcionaban realmente. Unos años más tarde, en 1957, el psicólogo estadounidense Frank Rosenblatt aprovechó al máximo este potencial al realizar con éxito un experimento pionero utilizando un hardware fabricado a medida: el Perceptrón (Fig. 3). Diseñado para clasificar imágenes, el Perceptrón se basaba en trabajos teóricos previos y ofrecía un prototipo funcional de una máquina de "aprendizaje". "Aprendizaje" se

refiere aquí a la capacidad del perceptrón para ajustar sus parámetros cuando se expone a una serie de imágenes, un proceso que también se denomina “entrenamiento”. Mediante este procedimiento de prueba y error, la red ajustaba sus valores para mejorar su capacidad de predecir con exactitud la categoría de cada imagen. La especificidad del perceptrón residía precisamente en su capacidad para realizar un bucle de retroalimentación autocorrectiva. Este proceso lo diferenciaría de las teorías algorítmicas anteriores, al tiempo que abriría nuevas vías de investigación para las próximas décadas.

Otro momento fundacional en la historia de AI tuvo lugar durante la misma década. En 1956, los investigadores reunidos en el Proyecto de Investigación de Verano de Dartmouth formularon una definición inicial de AI y establecieron la hoja de ruta para futuros desarrollos en este campo. Su equipo propuso tanto el término “Inteligencia Artificial”⁴ como su significado: el uso del cerebro humano como modelo para la lógica de las máquinas. Para ellos, emular el modo de adquisición del cerebro humano, su estructura y sus principios de funcionamiento representaría una forma alternativa de definir la lógica algorítmica.

4. J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, C. E. Shannon, "A Proposal for The Dartmouth Project of investigation de verano sobre inteligencia artificial Al Magazine, 31 de agosto. 1955.

5. J. Weizenbaum, "ELIZA, A Computer Program For the Study of Natural Language Communication Between Man and la máquina" Comunicaciones de la ACM, Volume 9, Issue 1, pp 36-45, 1966.

Siguiendo los pasos de estos primeros experimentos, las aplicaciones empezaron a extenderse por diversos ámbitos. El procesamiento del lenguaje natural ofrece probablemente uno de los desarrollos más interesantes del periodo. Con ELIZA (1966), un proyecto desarrollado por el científico germano-estadounidense Joseph Weizenbaum, un ordenador era capaz de simular una conversación con una persona a través de un chat⁵. Weizenbaum intentó formalizar algunos de los patrones subyacentes de las conversaciones casuales, que luego serían utilizados por ELIZA en el contexto de un intercambio textual con el usuario. En el otro extremo del espectro, la ingeniería robótica vio en la Inteligencia Artificial la posibilidad de ofrecer a determinados sistemas una autonomía parcial. Con aplicaciones en la fabricación ya en la década de 1950, la IA dio pronto resultados a gran escala. Unimate (1961), un proyecto desarrollado por los ingenieros estadounidenses George Devol y Joseph Engelberger para las cadenas de montaje de General Motors, fue quizá el que mejor encarnó este impulso: su brazo robótico podía realizar tareas como transportar piezas fabricadas y soldar.

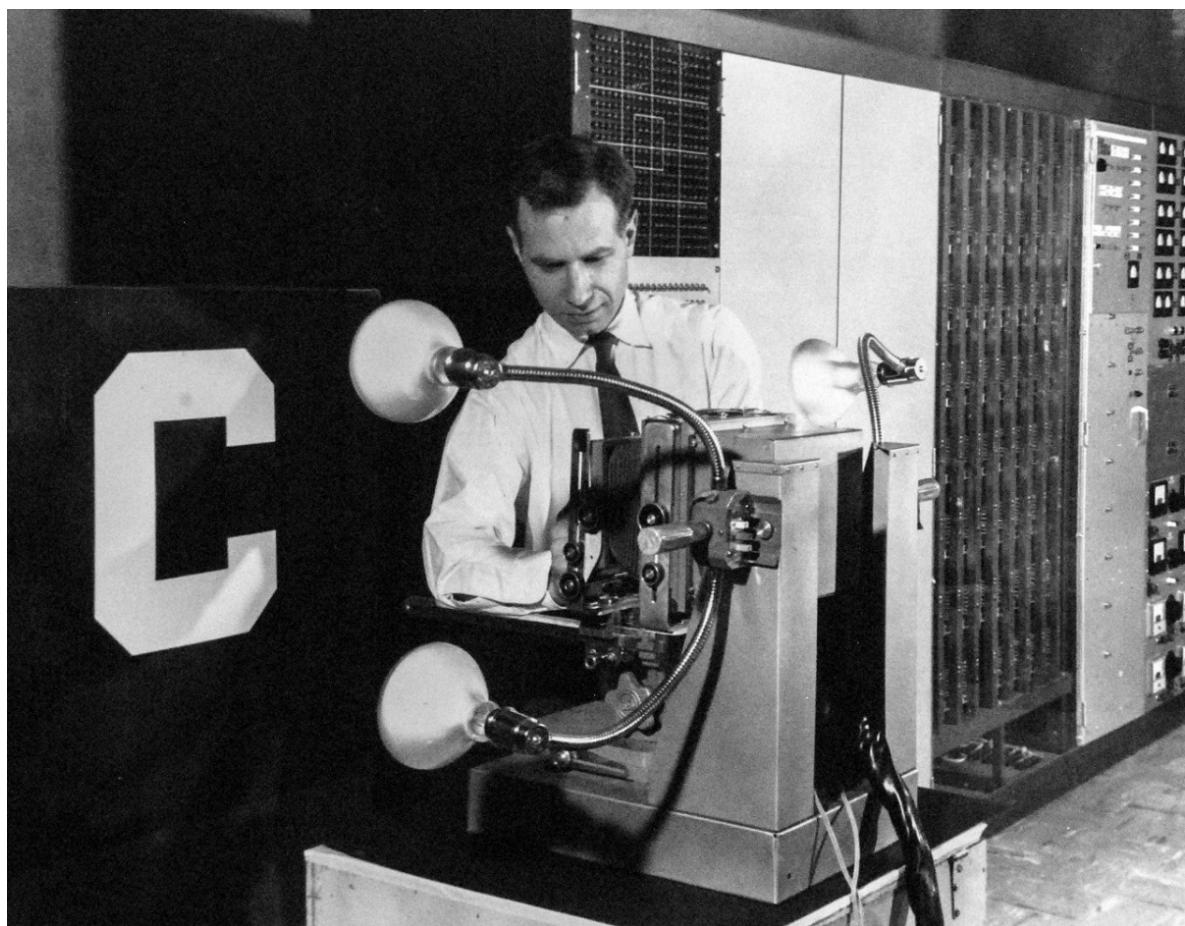
ELIZA y Unimate son ejemplos emblemáticos del optimismo de la época; los experimentos se irían extendiendo poco a poco más allá del ámbito de las instituciones de investigación y se aplicarían a problemas del mundo real. Y a medida que la IA empezaba a ofrecer resultados tangibles en todos los ámbitos, la confianza de la comunidad científica se reforzaba aún más. El psicólogo cognitivo estadounidense Herbert Simon fue quien mejor resumió el espíritu de la época: “La forma más sencilla de resumirlo es decir que ahora hay en el mundo máquinas que piensan, que aprenden y que crean. Además, su capacidad para hacer estas cosas va a aumentar rápidamente hasta que [...] la gama de problemas que pueden manejar será coextensiva con la gama a la que se ha aplicado la mente humana”⁶. Sin embargo, las predicciones de Herbert se enfrentarían a una realidad muy distinta, ya que la investigación en IA pronto alcanzó un estancamiento duradero, poniendo fin a las perspectivas aparentemente positivas de los años sesenta.

6. H. Simon, "Heuristic Problem Solving: The Next Advance Operations Research", Operations Research 6(1), pp 1-10, 1958.

Periodo de posguerra



②



③

Sistemas expertos e invier-nos IA

A lo largo de los años sesenta y setenta, y posteriormente en los noventa, el campo de la IA atravesaría dos períodos agudos de duda sobre sí mismo, hoy conocidos como los “inviernos IA”. En ambos casos, la mentalidad general en el sector privado y entre las instituciones de investigación contrastará fuertemente con el entusiasmo de los primeros días.

El primer invierno de la IA tuvo lugar tras los experimentos de Rosenblatt con el Perceptrón. Entre otros muchos factores, dos publicaciones concretas serían sintomáticas del creciente escepticismo de la época. La primera fue un libro titulado “Perceptrons” (1969), escrito por Marvin Minsky y Seymour Papert⁷. Los dos científicos expusieron una visión crítica del Perceptrón de Rosenblatt y las investigaciones derivadas. Para ellos, el perceptrón se limitaba a casos de uso sencillos y no podía abordar problemas más complejos. La segunda publicación fue el Informe Lighthill (1973), dirigido por el matemático británico James Lighthill⁸. El informe, inicialmente titulado “Artificial Intelligence: a General Survey”, evaluaba los resultados de la IA en todo el campo. En este extracto del informe, Lighthill establecía un diagnóstico bastante pesimista: “La mayoría de los trabajadores en la investigación de IA y en campos afines confiesan un pronunciado sentimiento de decepción por lo conseguido en los pasados veinticinco años. Los trabajadores entraron en este campo hacia 1950, e incluso hacia 1960, con grandes esperanzas que

7. M. Minsky & S. Papert, “Perceptrons: An Introduction to Geometría computacional MIT Press, 1969.

8. J. Lighthill, “Artificial Intelligence: a General Survey”. Artificial Intelligence: a paper symposium, Science Research Council, 1973.

9. J. Lighthill, "Artificial Intelligence: a General Survey", Artificial Intelligence: a paper symposium, Science Research Council, Parte 1, p. 8, 1973.

están muy lejos de haberse hecho realidad en 1972. En ninguna parte del campo los descubrimientos realizados hasta ahora han producido el gran impacto que entonces se prometía⁹. Para Lighthill y su equipo, el impacto aparentemente insignificante de la IA debería poner en tela de juicio toda la disciplina. La influencia de estas dos publicaciones fue bastante significativa en su momento: tanto la financiación pública como las inversiones privadas en programas de I+D se congelaron momentáneamente o se reasignaron a otros ámbitos científicos. La IA tendría que esperar poco tiempo antes de volver a ver la confianza y la financiación en su camino.

La década de 1980 correspondería a una reactivación. La llegada de los sistemas experto, como nueva generación de modelos de AI impulsada por la creciente disponibilidad de potencia de cálculo, propició este resurgimiento de la confianza. Como consecuencia inmediata, la financiación se disparó y volvió a fluir hacia el campo, dándole una repentina segunda oportunidad. Los sistemas experto fueron la firma de este periodo; estos modelos permitían a las máquinas razonar basándose en un conjunto de reglas y colecciones de hechos. En otras palabras, a partir de una base de conocimientos dada, un sistema experto podía inferir la verdad de nuevas afirmaciones. La fiabilidad de estos modelos, aplicados a ámbitos específicos, es lo que explicaría su éxito a lo largo de la década de 1980.

El programa R1 de John P. McDermott (1978), también llamado XCON, es un ejemplo aplicado a un problema del mundo real. El programa de McDermott se utilizó en 1980 para ayudar a DEC, un fabricante estadounidense de ordenadores, a automatizar el pedido de componentes informáticos en función de los requisitos del cliente. Dada la naturaleza especializada de la tarea, este modelo basado en reglas tuvo un gran éxito en la mejora de la fiabilidad general de los procesos industriales. Sin embargo, uno de los sistemas expertos más emblemáticos sigue siendo el proyecto "Cyc", desarrollado a partir de 1984 por el investigador estadounidense Douglas Lenat¹⁰. Con Cyc, Lenat quería modelizar conocimientos, conceptos y reglas de sentido común sobre el funcionamiento del mundo. Es hasta hoy uno de los ejemplos más significativos del tipo

10. Matuszek et al., "An Introduction to the Syntax and Content of Cyc" (Introducción a la sintaxis y el contenido de Cyc), AAAI Spring Symposium, 2006.

de experimento que tomó forma durante este periodo. De hecho, este proyecto sigue desarrollándose hoy en Cycorp.

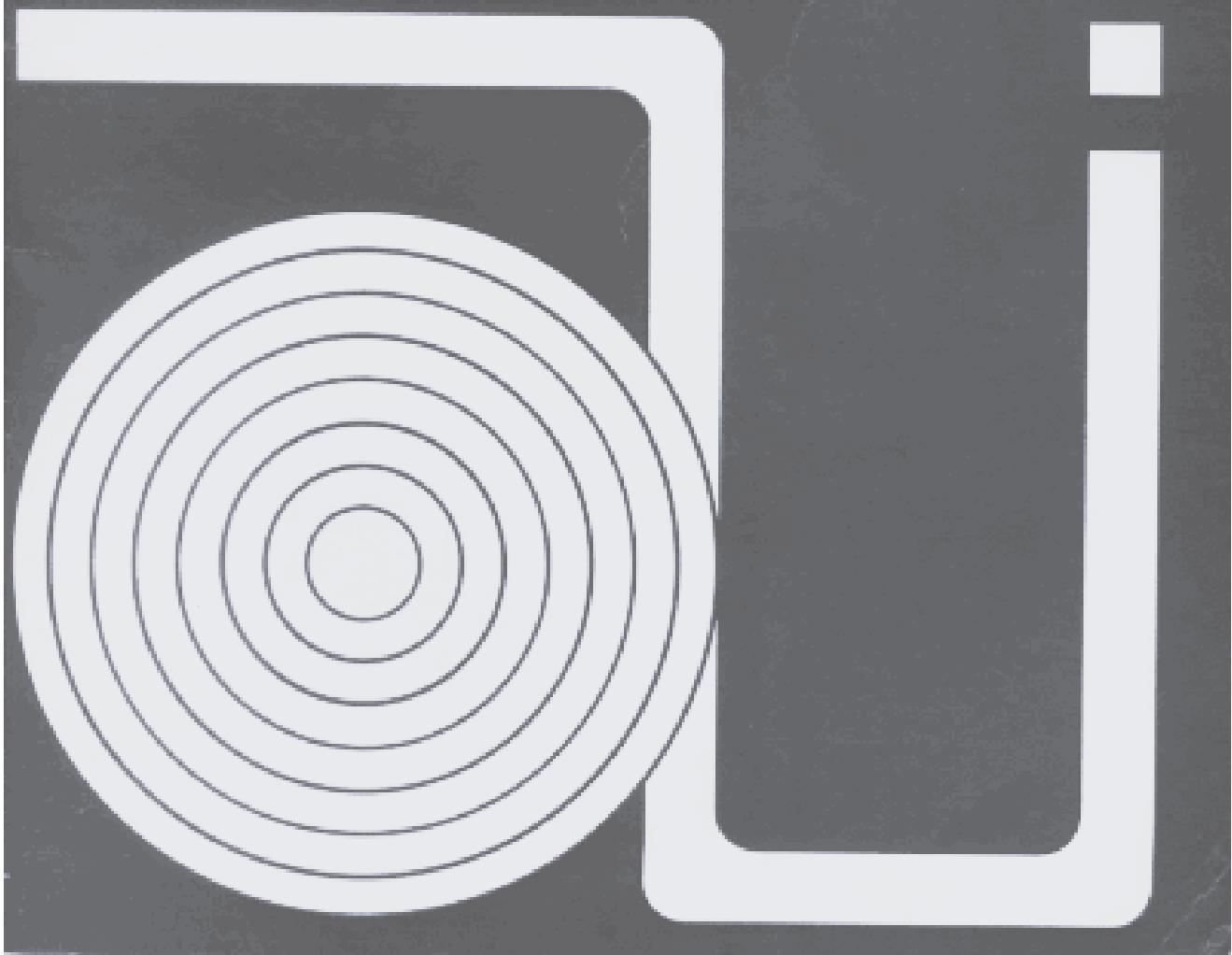
Sin embargo, a finales de la década de 1980, los sistemas expertos alcanzaron una meseta debido a ciertas limitaciones obvias, lo que provocó el comienzo de un segundo invierno IA. John McCarthy fue quizás quien mejor formuló sus causas en su artículo “Some Expert Systems Need Common Sense” (Fig. 4)¹¹: En esta publicación, McCarthy reflexionaba sobre la dificultad de los sistemas expertos para extenderse más allá del ámbito originalmente contemplado por sus diseñadores, y la incapacidad para reconocer sus propias limitaciones ³. Al mismo tiempo, Jacob T. Schwarz, entonces Director de DARPA ISTO, la rama de Ciencia y Tecnología de la Información de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa, llegó a la misma conclusión y decidió reducir significativamente la financiación dedicada a este campo. El escepticismo general y la falta de inversión asolarían la investigación en AI durante la década siguiente, sumiendo a toda la disciplina en un nuevo periodo de dudas sobre sí misma.

4

Portada del artículo: “Some Expert Systems Need Common Sense” de J. McCarthy.

Science Research Council

Artificial Intelligence



4

Lighthill Report

La revolución del “deep learning”

En los años 90 y 2000, la investigación en AI pivotaría progresivamente hacia métodos basados en el aprendizaje automático. Dado que los sistemas experto habían dejado de lado el principio de “aprendizaje”, sus limitaciones dieron lugar a exploraciones en nuevas direcciones: redes neuronales, redes bayesianas, algoritmos evolutivos, etc. Todos estos métodos se basan en el concepto de adquisición gradual de conocimientos, mediante un proceso de aprendizaje por prueba y error. En un panorama de investigación aparentemente tranquilo, las investigaciones sobre estos modelos se iban extendiendo. Algunos acontecimientos acabaron por sacudir a la comunidad científica y reactivar de nuevo este campo estancado. En 1997, Deep Blue, un ordenador basado en IA concebido en la investigación de IBM, acabó venciendo a Garry Kasparov, entonces campeón del mundo de ajedrez. Esto supuso una primera llamada de atención para la comunidad científica y más allá¹². Del mundo abstracto del ajedrez a una aplicación en la vida real, la IA iba a beneficiarse pronto de otra sorprendente demostración en 2005, en el DARPA Grand Challenge. Esta carrera de coches fue ganada por Stanley, un coche autónomo creado por la Universidad de Stanford y los Laboratorios de Búsqueda Electrónica de Volkswagen¹³. A través de un bucle de retroalimentación entre los sensores montados en el coche y un modelo de aprendizaje automático, el vehículo fue capaz de completar la carrera y asegurarse el primer puesto.

12. M. Newborn "Deep Blue: An Artificial Intelligence Milestone". Springer, 2002.

13. Laboratorio de Inteligencia Artificial de Stanford. "Stanley: El robot que ganó el DARPA Grand Challenge". En 2005 DARPA Grand Challenge, pp 1-43, Springer, 2006.

Estos dos acontecimientos volvieron a poner la investigación en el punto de mira: volvía la financiación. Esta vez, sin embargo, este renacimiento coincidió con algunas otras realidades. En primer lugar, con el rápido desarrollo de Internet, la recopilación y conservación de datos había mejorado considerablemente. Las grandes bases de datos se agregaban y conservaban, con lo que la investigación en IA disponía de una variedad y cantidad de información mucho más amplia para procesar. A continuación, las GPU (“Unidad de Procesamiento Gráfico”) empezaron a ser más accesibles: esta pieza de hardware, utilizada por los ordenadores para procesar imágenes, se desvió de su propósito inicial para entrenar modelos de IA e hizo viables proyectos de AI considerados imposibles hasta entonces. A lo largo de la década de 2000, este hardware se hizo progresivamente más accesible, ya fuera de forma nativa, en los portátiles de los usuarios, o en la “nube”, utilizando servidores de forma remota.

Partiendo de estas bases, a principios de la década de 2010 surgió el término “aprendizaje profundo” o “deep learning” para referirse al cambio que se estaba produciendo en la comunidad de IA. Esta expresión es un reconocimiento de que las redes artificiales eran el foco principal a partir de ahora, en contraposición a los sistemas expertos u otras arquitecturas empleadas anteriormente en la investigación de IA. El concepto de “profundidad” se refiere a la creciente complejidad de los modelos de IA mediante la adición de más neuronas artificiales a su arquitectura. A cambio, esta profundidad de la red permitía a los sistemas de IA abordar problemas más difíciles, aunque hacía que el proceso de entrenamiento fuera computacionalmente más caro y tedioso. Si hasta ese momento la IA seguía siendo un campo silencioso, la relevancia de esta nueva generación de modelos pronto empezaría a ponerse de manifiesto gracias al trabajo de ciertas instituciones de investigación. Algunos acontecimientos aceleraron esta revolución al tiempo que difundían su importancia al mundo. En 2012, AlexNet¹⁴, un flamante modelo de aprendizaje profundo, superó todos los parámetros de referencia; el equipo de científicos que creó AlexNet demostró así la validez de las arquitecturas profundas para problemas complejos y puso el listón mucho más alto que cualquier investigación anterior sobre el tema. Este acontecimiento abrió los ojos al sector y, lo que es más importante, al público en general. En un ámbito

14. Krizhevsky et al.
“ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks”
Advances in neural information processing systems 25, pp 1097-1105, 2012.

Recorrido histórico

15. Silver et al, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search", Nature 529, pp. 484-489, 2016.

totalmente distinto, en 2016, Lee Sedol, campeón mundial del juego Go, perdió contra AlphaGo, un modelo AI desarrollado por DeepMind¹⁵. Si el juego Go puede parecer a primera vista análogo al ajedrez, se juega en un tablero con estanques blancos y negros, en realidad es mucho más complicado. Debido a su complejidad combinatoria, los científicos no habían creído hasta ahora que AI pudiera competir con la intuición humana en este juego. Precisamente por eso, la derrota de Sedol fue tanto un gran avance como una señal para la comunidad investigadora en general de que el aprendizaje profundo representaba un salto cuántico.

Desde ImageNet y AlphaGo, la era del aprendizaje profundo ha florecido con innumerables nuevos avances y aplicaciones. En primer lugar, la diversidad y la complejidad de los modelos de AI han aumentado significativamente: desde entonces se han desarrollado redes neuronales convolucionales, redes neuronales gráficas, redes generativas adversariales, autocodificadores variacionales y muchas otras arquitecturas nuevas, que siempre han superado los límites de rendimiento previamente establecidos y han ampliado el alcance de AI. La variedad de medios de entrada también se ha ampliado considerablemente: de los simples dígitos e imágenes de los años 50 y 60 a que hoy en día la IA pueda analizar y generar películas, sonidos, textos y geometrías 3D, por nombrar solo algunos formatos. Esta realidad, combinada con la democratización de la potencia computacional, ha permitido una amplia difusión de las soluciones de IA en todos los sectores desde la década de 2010.

16. Hwang et al, "Comprehensive Study on Molecular Supervised Supervised Learning with Graph Neural Networks", J.Chem. Inf. Model, 60, 12, pp 5936-5945, 2020.

Algunos ejemplos ilustran la sorprendente diversidad de las aplicaciones de IA en la actualidad. En bioingeniería, por ejemplo, el descubrimiento de fármacos ha mejorado drásticamente. Para determinar la solubilidad de determinadas moléculas o su compatibilidad, la IA puede generar una gran cantidad de estructuras moleculares y predecir su rendimiento y propiedades asociadas (toxicidad, metabolismo, etc.)¹⁶; del mismo modo, el tiempo dedicado a la búsqueda de nuevos fármacos puede reducirse drásticamente, mientras que los científicos pueden explorar más opciones que con los métodos tradicionales. En un campo completamente distinto, el de la ingeniería mecánica, el diseño de piezas, dado un conjunto de restricciones y propiedades de los materiales, siempre ha sido

17. Rawat et al,
“A Novel Topology Optimization
Approach using Conditional
Deep Learning”, 2019.

18. Goodfellow et al,
“Generative Adversarial
Networks”, Advances in neural
information processing systems,
27, 2014.

19. Karras et al, “A
Style-Based Generator
Architecture for Generative
Adversarial Networks”,
In Proceedings of the IEEE/CVF
Conference on Computer Vision
and Pattern Recognition, pp.
4401-4410, 2018.

5
Retratos generados utilizando
StyleGAN, Nvidia Research,
2018.

6
Resultados de DALL-E; cada
colección de imágenes es
generada por el modelo,
basándose en una frase de
entrada, mostrada arriba en la
figura.

un campo de investigación clave. El reparto de cargas bajo tensión es un problema complejo de prever que diversas técnicas de optimización llevan décadas intentando abordar. La tecnología actual permite acelerar estas optimizaciones¹⁷ para predecir la trayectoria insospechada de las cargas y sugerir patrones totalmente nuevos de reparto de materiales.

La síntesis de imágenes, un campo relacionado con la generación de imágenes por ordenador, ha visto cómo los últimos avances arrojaban resultados sorprendentes. Construidos sobre un nuevo tipo de arquitectura, teorizada inicialmente por el investigador Ian Goodfellow (2014)¹⁸, estos modelos pueden entrenarse para crear imágenes extremadamente realistas. Nvidia Research ha evidenciado su rendimiento con StyleGAN (2018)¹⁹, un modelo capaz de generar un vasto número de rostros humanos realistas en alta definición (Fig. 5).

OpenAI, un laboratorio de investigación estadounidense fundado en 2015, publicó recientemente los resultados de sus modelos lingüísticos, GPT-3, DALL-E y GLIDE. En esencia, estas arquitecturas pueden realizar la traducción de información textual a posibles representaciones visuales asociadas. En términos más sencillos, una frase dada, alimentada a estos modelos, devuelve una amplia variedad de imágenes, que se ajustan a la descripción transmitida por la frase de entrada. La figura 6 muestra estos resultados. Más allá de la representación estricta de términos literales, los proyectos de OpenAI abordan retos como las referencias, las analogías y otras complejidades del lenguaje humano. GPT-3, DALL-E y GLIDE simplemente ilustran los crecientes niveles de abstracción que los actuales modelos de IA son capaces de manejar.

Esta colección no exhaustiva de ejemplos no hace sino subrayar los resultados tangibles de los últimos avances en IA. Concluyen esta cronología de 70 años y sientan las bases para un debate entre Arquitectura e Inteligencia Artificial.

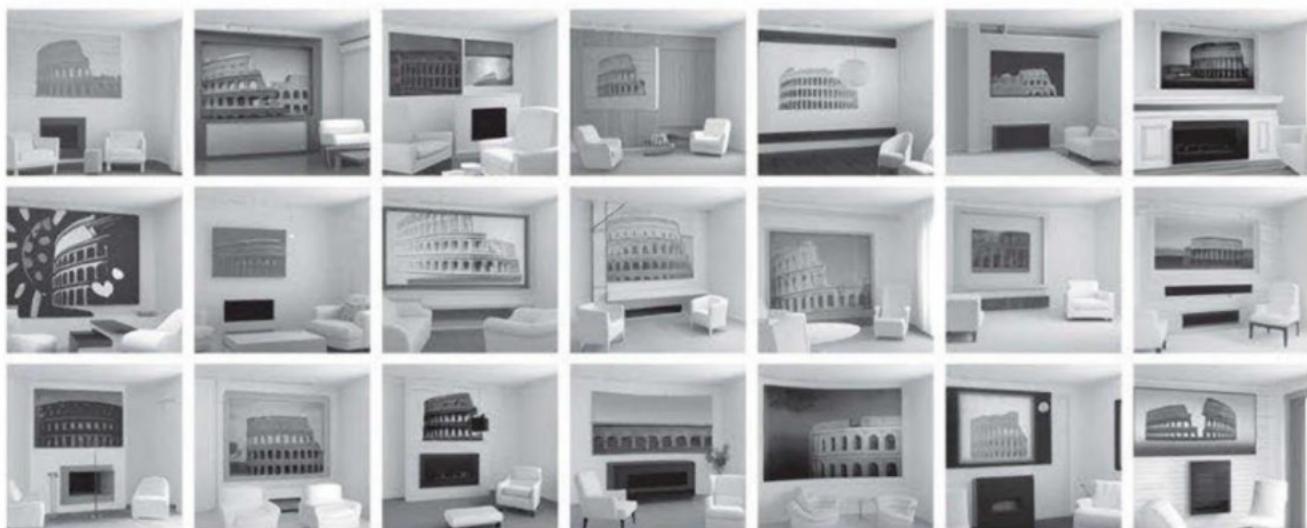
Recorrido histórico



5

La revolución del “deep learning”

A living room with two white armchairs and a painting of the Colosseum. The painting is mounted over a modern fireplace. ↓



A loft bedroom with a white bed next to a nightstand. There is a fish tank beside the bed. ↓



A photo of Alamo Square, San Francisco, from a street in the afternoon. ↓





Hasta IA llegada

Los lazos entre Arquitectura y Tecnología no son ni recientes ni han sido una realidad estable. A pesar de tener agendas muy distintas, sus respectivas historias muestran momentos de alineación y enriquecimiento mutuo. Ya sea simplemente inspirándose mutuamente o compartiendo marcos enteros, sus debates han aportado contribuciones significativas a ambos mundos.

Este ir y venir hunde sus raíces en la historia de la arquitectura. Desde la sistematización que supuso la retícula modular a principios de siglo hasta la llegada del diseño asistido por ordenador (CAD) y, más tarde, del modelado paramétrico, la disciplina se ha beneficiado del perfeccionamiento gradual de sus medios y métodos tecnológicos a lo largo del siglo pasado. En la actualidad, la AI aparece como una posible cuarta etapa de esta cronología. Dado que la relación de la arquitectura con la tecnología ha madurado paralelamente al desarrollo de AI, es esencial comprender cómo podría llegar a situarse AI en el panorama tecnológico de la disciplina. Este capítulo pretende vincular ambas historias, al tiempo que prepara el terreno para la presencia de AI en la arquitectura.

1

Timeline histórico de los desarrollos tecnológicos en la arquitectura desde los años 20.
p. 34-35, "Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice," de Stanislas Chaillou.

Modularity

1940s



•

PRONTO
P. Hanratty
('59)

"Unité d'habitation"
in Marseille
Le Corbusier
('52)

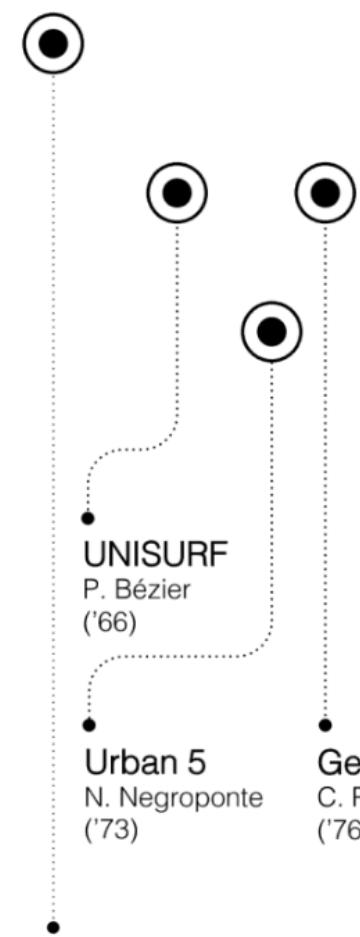
The Modulor
Le Corbusier
('46)

Baukasten
W. Gropius
('23)

Dymaxion
House
B. Fuller
('30)

Computer-Aided Design

1960s



•

UNISURF
P. Bézier
('66)

Urban 5
N. Negroponte
('73)

Generator
C. Price
('76)

SketchPad
I. Sutherland
('63)

AI's History

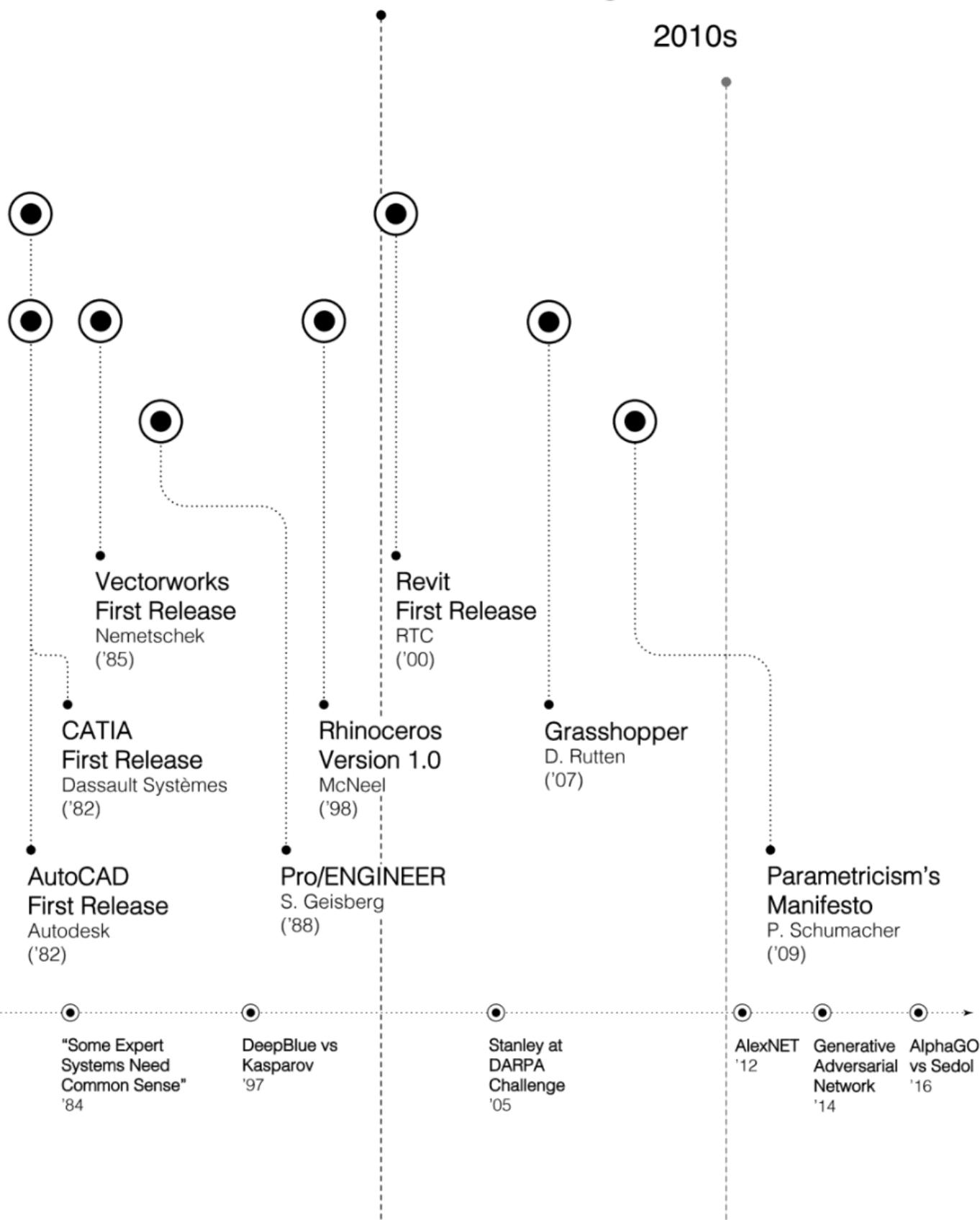
Artificial Neuron '43 Dartmouth Workshop '56 Perceptron '57 ELIZA '66 Lighthill Report '73

Parametricism

Artificial Intelligence

2000s

2010s



Sistemas modulares

Reflexionando sobre el siglo pasado, y para establecer un punto de partida destacado en esta cronología, la modularidad puede considerarse tanto un hito importante para la Arquitectura como un aumento repentino de su sistematización. A principios del siglo XX, la llegada de la modularidad movilizó tanto a académicos como a profesionales para remodelar rápidamente algunos de los principios constructivos y metodologías fundamentales de la disciplina.

1. A. M. Seelow, "El kit de construcción y la línea de montaje, conceptos de Walter Gropius para racionalizar la arquitectura", En Artes, Vol. 7. N° 4, p 95, Instituto Multidisciplinar de Edición Digital, 2018.

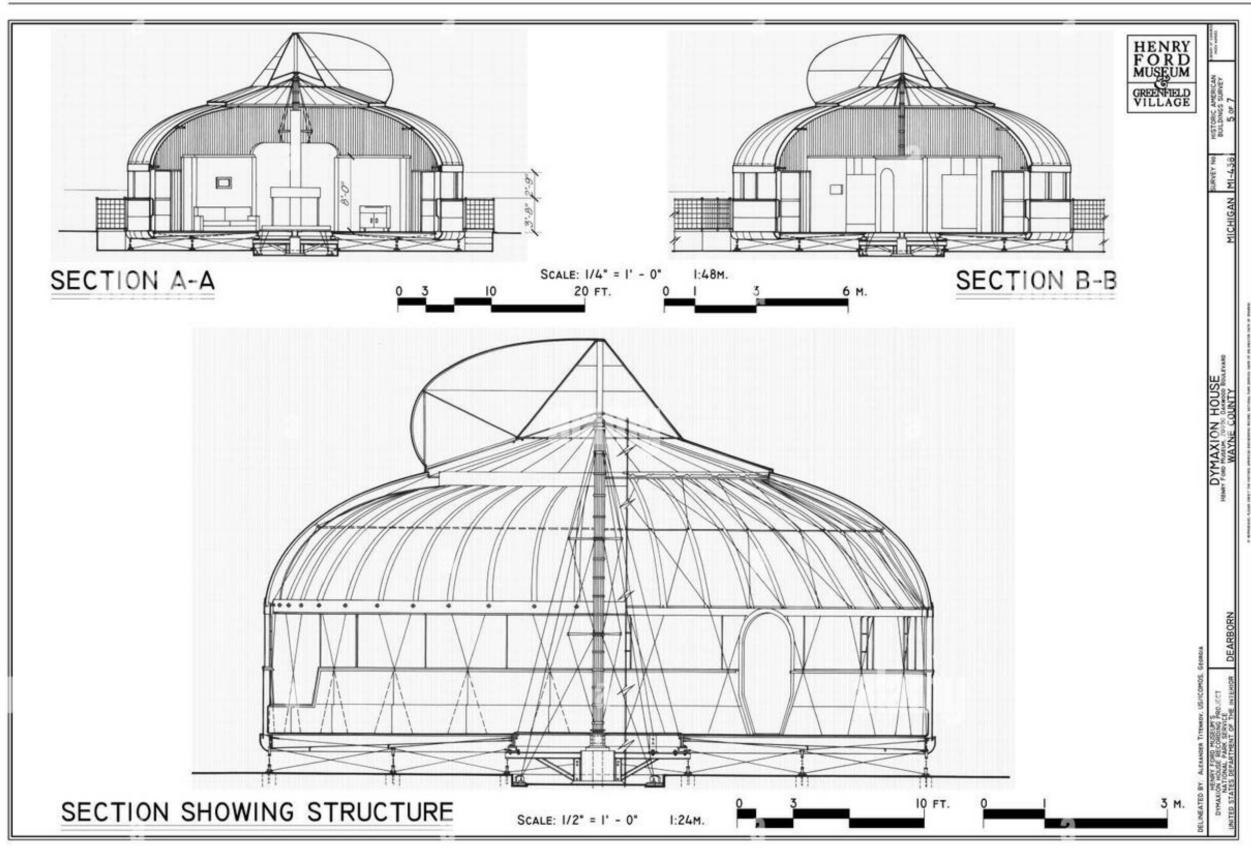
2. M. M. Cohen, A. Prosina, "Buckminster Fuller's Dymaxion House as a Paradigm for a Space Habitat". En ASCEND, p. 4048, 2020.

(2)

Secciones de la casa Dymaxion de Buckminster Fuller, 1933.

La modularidad fue teorizada por primera vez en la Bauhaus por el arquitecto alemán Walter Gropius. Su objetivo inicial era doble: simplificar técnicamente el proceso de construcción y reducir significativamente su coste. Con ese espíritu, Gropius introdujo, ya en 1923, el concepto de "Baukasten"¹. Con esta nueva metodología, se pretendía que los módulos estándar se ensamblaran como un kit de piezas de acuerdo con estrictas normas de montaje. De este modo, la complejidad de la resolución de los detalles quedaría mitigada por el rigor del sistema modular.

Con el arquitecto y diseñador estadounidense Buckminster Fuller, la modularidad evolucionó entonces hacia una definición más integrada. En la Casa Dymaxion de Fuller (1930)², sistemas como las tuberías de agua, la climatización y otras redes estaban directamente incrustados dentro de los propios módulos (Fig. 2).



Este intento llevó al extremo la lógica modular. La minuciosa descomposición de las distintas funciones en kits de ensamblaje fabricables convirtió a la Casa Dymaxion en una de las primeras pruebas de concepto con éxito para el resto de la industria.

Ese mismo año, la Casa Winslow Ames, diseñada por el arquitecto estadounidense Robert W. McLaughlin, constituyó otro experimento de éxito. En su proyecto, McLaughlin sometió los principios modulares a una presión aún más aguda en un intento de demostrar la asequibilidad de las viviendas modulares. Al racionalizar considerablemente el proceso de fabricación, McLaughlin consiguió reducir el coste de producción de una sola vivienda a 7.500 dólares. Esta demostración sentaría un precedente duradero, demostrando las evidentes ventajas del enfoque modular.

Hasta la llegada de la IA

3. Le Corbusier, "Le Modulor: essai sur une mesure harmonique à l'échelle humaine applicable universellement à l'architecture et à la mécanique". Publicado por "Architecture d'Aujourd'hui", 1950.

Esta racionalización de la arquitectura en sistemas y kits encontró rápidamente un eco más amplio dentro de la disciplina. Además de su estricto carácter económico relevancia, la modularidad fue inspirando poco a poco a teóricos de todo el campo. El "Modulor" de Le Corbusier es quizá el que mejor expresa esta realidad³. A partir de 1946, Le Corbusier desarrolló y puso en práctica una teoría más completa, en la que la racionalización de las dimensiones se integraba en el propio proyecto arquitectónico. En su obra, las dimensiones del edificio se ajustaban a métricas y proporciones clave derivadas del cuerpo humano. En consecuencia, desde la "Unité d'Habitation" de Marsella (1952) hasta el convento de La Tourette (1960), Le Corbusier sistematizó dimensiones y luces para que coincidieran con las prescripciones de su Modulor.

En línea con estos primeros experimentos, los arquitectos adaptarían cada vez más sus obras a las exigencias de los principios modulares. En esencia, al transferir parte de la tecnicidad del diseño a la lógica sistemática de la retícula y los sistemas de ensamblaje, los arquitectos descubrieron una metodología que les permitía componer diseños asequibles a escala. Dos grandes ventajas de la construcción modular iban a contribuir a su rápida adopción: por un lado, reducía drásticamente tanto la complejidad como el coste de la concepción y construcción de edificios. Por otro, aumentaba sustancialmente la fiabilidad de los procesos de construcción. Si se observan proyectos icónicos más contemporáneos, construidos o no, todavía se puede leer la influencia duradera de los principios modulares. Por citar sólo dos ejemplos, "Habitat 67", de Moshe Safdie, y "Plugin City", de Archigram, son llamativos ejemplos de la fascinación por la modularidad que continuaría mucho después del final de la Segunda Guerra Mundial.

Sin embargo, estos principios mostrarían rápidamente limitaciones evidentes. Restringir la arquitectura a un simple ensamblaje de módulos aliñeados en una cuadrícula rígida reducía demasiado a menudo la práctica a una definición estrecha. En muchos casos, los arquitectos no podían conformarse con actuar como meros ensambladores de sistemas de diseño predefinidos, ateniéndose a normas y procesos estrictos. Además, la producción modular resultaba con demasiada frecuencia bastante

(3)

Montaje de Habitat 67 de Moshe Safdie, 1967.





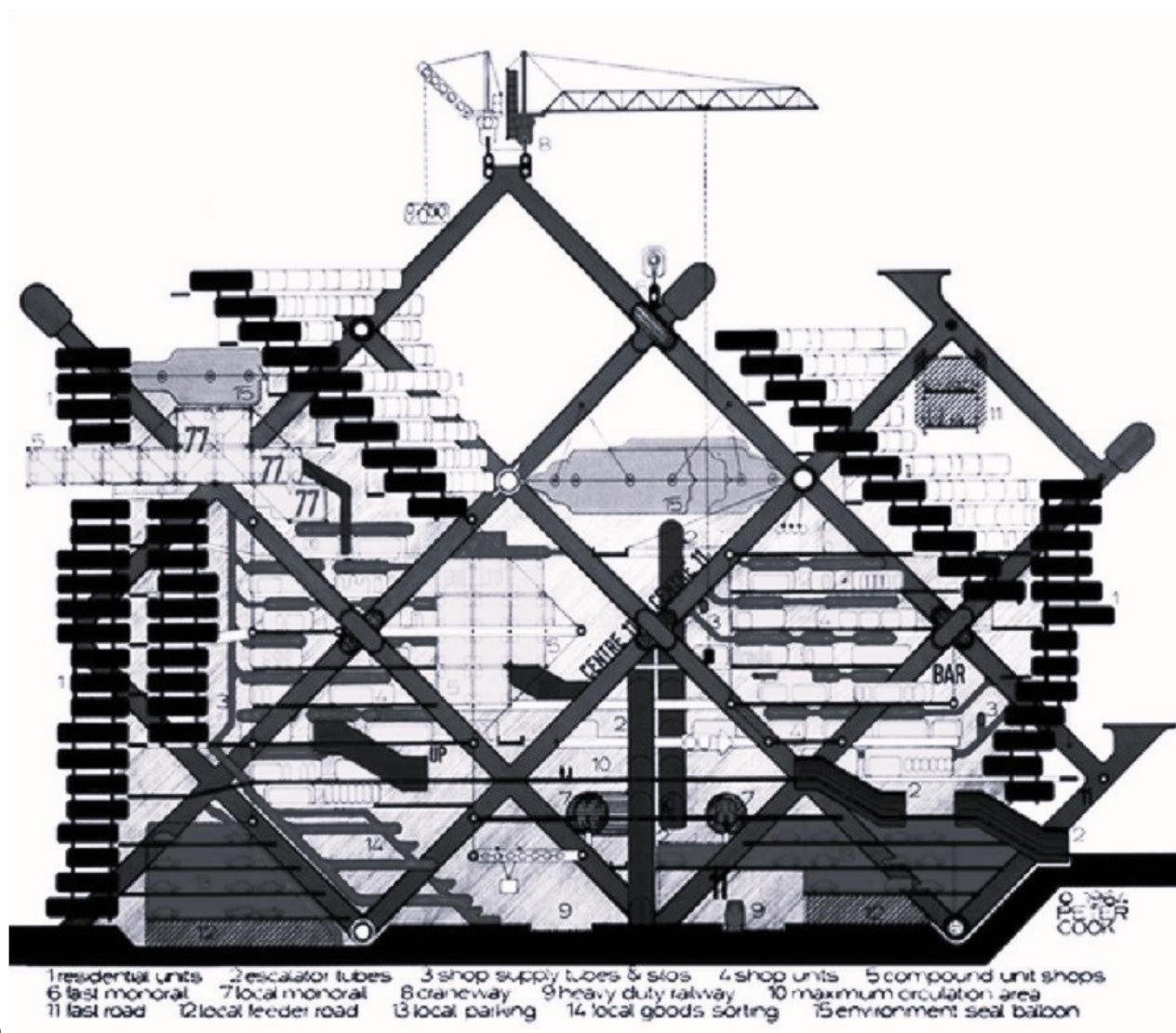
3

4

Diagramas del montaje de la Plug-In City, Peter Cook, Archigram, 1964.

monótona, mientras que los primeros sistemas de ensamblaje acababan revelando verdaderas debilidades constructivas. Por estas razones, la fascinación de los arquitectos por la modularidad, en su definición inicial, se iría desvaneciendo a lo largo del siglo XX.

Sin embargo, iba a tener un profundo efecto en la disciplina arquitectónica, estableciendo una nueva mentalidad racional entre los profesionales y un cierto afán por concebir los edificios como sistemas reales. Como testimonio perdurable de este periodo, los conceptos de retícula, módulo y ensamblaje todavía hoy irrigan profundamente algunos de los principios fundamentales de la Arquitectura.



4

Diseño computacional

A principios de la década de 1980, el rápido aumento de la potencia de cálculo y la disponibilidad de nuevo hardware (microprocesadores, memorias, redes informáticas, etc.) desencadenaron la aparición de múltiples programas informáticos de diseño relevantes para el diseño arquitectónico. El “diseño asistido por ordenador” (o “CAD”) iba a tener un impacto significativo en la práctica de la Arquitectura.

En realidad, las reflexiones sobre el potencial del CAD comenzaron ya a mediados de la década de 1950 en algunas empresas de ingeniería. En 1959, el informático y empresario estadounidense Patrick Hanratty lanzó PRONTO⁴, el primer prototipo de CAD, desarrollado para el diseño de piezas de ingeniería. Las posibilidades que ofrecía este software marcaron el inicio de importantes esfuerzos de investigación sobre el tema.

4. W. E. Carlson, “A Critical History of Computer Graphics and Animation”, The Ohio State University, 2005.

5. Sutherland, Sketchpad: Un sistema de comunicación gráfica hombre-máquina. Simulación, 2(5), pp R-3. 1964.

5

Ivan Sutherland y SketchPad, 1963.

Poco después, en 1963, el informático estadounidense Ivan Sutherland creó SketchPad⁵ (Fig. 5), uno de los primeros programas de CAD realmente accesibles, ergonómicos y sencillos. Trabajando en el Laboratorio Lincoln del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Sutherland diseñó un software que no sólo permitía dibujar con precisión elementos técnicos en 2D, sino que también ofrecía una interfaz ágil e intuitiva para los diseñadores. Con el uso de un lápiz y unos controles extremadamente simplificados, SketchPad ofrecía a los dibujantes un nivel de comodidad y flexibilidad sin precedentes.



⑤

6.. P. Bézier, "Essai de définition numérique des courbes et des surfaces expérimentales". PhD diss, these Doctoral d'Etat es Sciences Physiques, 1977.

7.. P. Bézier, "Example of an existing system in the motor industry: the Unisurf system", Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences, 321(1545), pp 207-218, 1971.

Del dibujo en 2D al modelado en 3D, el CAD dio un salto adelante en Francia, gracias al trabajo del matemático e informático Pierre Bézier. El trabajo de Bézier sobre las curvaturas complejas⁶ permite a los dibujantes dibujar por ordenador formas tridimensionales cada vez más complejas, ofreciendo un nuevo impulso al software de CAD. Lanzado en 1966, el programa UNISURF⁷ de Bézier fue utilizado por el fabricante de automóviles Renault para modelar la forma de algunos prototipos. Este repentino salto adelante no se limitó al diseño de automóviles, sino que tendría una influencia duradera en el software de diseño de muchos otros campos.

Gracias a Sutherland, Hanratty, Bézier y muchos otros, el CAD se convirtió cada vez más en un nuevo campo de investigación por derecho propio. Al mismo tiempo, el CAD se estaba implantando masivamente en todos los sectores, y la arquitectura no era una excepción. En esencia, esta generación de programas informáticos permitía crear y editar

primitivas, agruparlas y ordenarlas mediante conceptos como bloques, grupos y capas, para finalmente dar salida a los resultados en diversos formatos, digitales o impresos. Además de su evidente contribución a la agilización de las tareas de dibujo, los programas de CAD impusieron una estructura específica al proceso de diseño. Los dibujos se organizaban sistemáticamente en capas, los bloques permitían reproducir grupos de formas similares a módulos y las geometrías se etiquetaban con propiedades coherentes. A través de sus diversas convenciones, el CAD impulsó en Arquitectura una nueva forma de racionalizar y sistematizar el proceso de dibujo.

Paralelamente a esta difusión gradual, el trabajo de los pioneros del CAD inspiraría a una generación de informáticos y arquitectos a tomar direcciones más especulativas y experimentales. El Architecture Machine Group (AMG) del MIT, dirigido por el informático y profesor grecoamericano Nicholas Negroponte, es quizá uno de los ejemplos más significativos de este periodo. El libro de Negroponte, "The Architecture Machine" (1970)⁸, resume la esencia de la misión del AMG: investigar cómo los ordenadores podrían mejorar el diseño arquitectónico en las décadas venideras. Los proyectos Urban 2, y más tarde Urban 5⁹, le permitieron demostrar el potencial del CAD específicamente en su aplicación a la Arquitectura¹⁰, incluso antes de que la industria hubiera tomado este camino. A lo largo de los proyectos de AMG, los investigadores estudiaron la posible interfaz entre ordenadores y diseñadores, así como la organización de los futuros programas de CAD.

Tras estas investigaciones concluyentes, los arquitectos y la industria en general impulsaron activamente estos inventos hasta convertirlos en innovaciones. Frank Gehry fue sin duda el más vibrante defensor de la causa. Para él, la aplicación de la computación podía relajar drásticamente los límites de los sistemas de montaje y permitir nuevas formas y geometrías de construcción. Gehry Technologies, fundada por Gehry y Jim Glymph en los años 80, solía utilizar los primeros programas informáticos de CAD, como CATIA, de Dassault Systems para abordar problemas geométricos complejos (Fig. 6). Sentando aquí el precedente para 30 años de Diseño Computacional, Gehry Technology demostraría

8. N. Negroponte, "The Architecture Machine" MIT Press, 1970.

9. N. Negroponte, "Toward a Theory of Architecture Machines" Journal of Architectural Education, Vol. 23, No. 2, pp 9-12, 1969

10. Una reconstrucción demo de Urban 5 creada por Erik Ulberg, puede ser usada en este link: <https://codelabgithubio/URBAN5/>.

6

Walt Disney Concert Hall, Frank Gehry, 1992.

Hasta la llegada de la IA

el valor de la computación a los arquitectos, provocando un alud en la profesión. En los 15 años siguientes, el crecimiento irresistible de la potencia de cálculo y la capacidad de almacenamiento de datos, combinados con máquinas cada vez más asequibles y fáciles de usar, facilitaron masivamente la adopción de programas informáticos de diseño en 3D. Los arquitectos se adhirieron rápidamente al nuevo sistema, el diseño computacional, sobre la base de una justificación clara: un control riguroso de la geometría, lo que aumenta la fiabilidad, la viabilidad y el coste del diseño; facilidad y agilidad para la colaboración entre diseñadores; y, por último, iteraciones de diseño que podría permitirse el boceto a mano tradicional.

Sin embargo, a medida que los diseñadores se iban familiarizando con el diseño computacional, surgieron un par de deficiencias. En concreto, la repetitividad de ciertas tareas, y la falta de control sobre formas geométricas complejas terminó causando serios problemas allanando el camino a un nuevo movimiento que estaba surgiendo dentro del diseño computacional: El parametricismo.





6

Parametricismo

11. The Advent of Architecture AI+ Architecture Thesis, p. 14, Harvard GSD, Stanislas Chaillou, 2019.

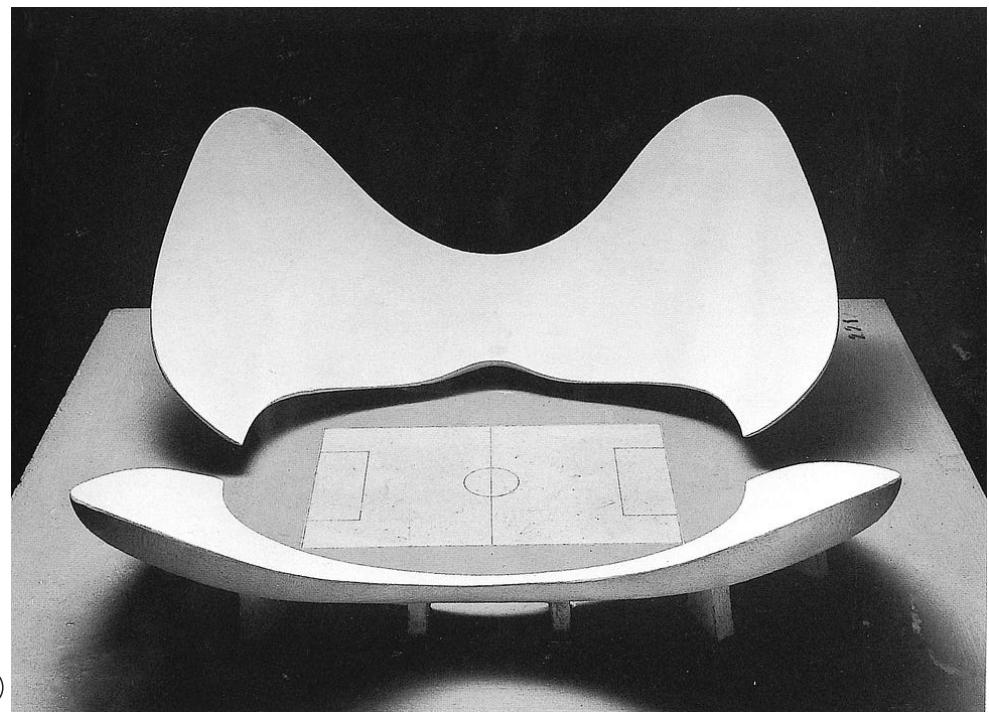
En el mundo de los parámetros, tanto las tareas repetitivas como las formas complejas podrían abordarse si se racionalizaran con conjuntos sencillos de reglas. Las reglas podían codificarse en el programa, para automatizar el laborioso proceso de aplicarlas manualmente. Este paradigma impulsó la llegada del Parametricismo¹¹. En pocas palabras, si una tarea puede explicarse como un conjunto de órdenes dadas al ordenador, la tarea del diseñador consistiría en comunicárselas al software aislando los parámetros clave que influyen en el resultado. Una vez codificados, el arquitecto sería capaz de variar los parámetros y generar diferentes escenarios posibles: diferentes formas potenciales, dando lugar a múltiples resultados de diseño a la vez.

12. Artículo sobre la historia del Diseño Paramétrico de Daniel Davis, investigador PhD en diseño computacional en RMIT University.

7

Fotografía de maqueta de Stadium N, Luigi Moretti, 1960 para la XII trienal de Milán.

A principios de los años sesenta, el profesor Luigi Moretti anuncia el surgimiento de la arquitectura parametrizada¹². Su proyecto “Stadium N”, aunque teórico en un principio, es la primera expresión clara del parametricismo (Fig. 7). Mediante la definición de 19 parámetros determinantes, entre ellos 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. La forma resultante, aunque sorprendente y bastante orgánica, ofrece el primer ejemplo de esta nueva estética paramétrica: orgánica en su aspecto, aunque estrictamente racional como proceso de concepción.



Samuel Geisberg, fundador de Parametric Technology Corporation (PTC), lanzaría más tarde, en 1988, Pro/ ENGINEER, primer software que da pleno acceso a los parámetros geométricos a sus usuarios. Al lanzar el software, Geisberg resumió a la perfección el ideal paramétrico: “El objetivo es crear un sistema que sea lo bastante flexible para animar al ingeniero o ingeniera a considerar fácilmente una variedad de diseños. Y el coste de cambios de diseño debería ser lo más cercano posible a cero”¹³.

^{13.} Teresko, John, Industry Week, December 20, 1993.

Como los arquitectos eran cada vez más capaces de manipular su diseño utilizando el poder de los parámetros, la disciplina convergió lentamente hacia el Parametricismo. Desde la invención de los parámetros hasta su traducción en innovaciones en toda la industria, vemos un puñado de individuos clave, que han dado forma al surgimiento del Parametricismo. El mejor ejemplo de esta parametrización de la arquitectura es la obra de Zaha Hadid Architects. La Sra. Hadid, arquitecta iraquí formada en el Reino Unido y con formación matemática, fundó su estudio con la intención de unir matemáticas y arquitectura a través del diseño paramétrico. Sus diseños suelen ser el resultado de reglas codificadas en el programa (Fig. 8), que permiten un control sin precedentes de la geometría de los

8

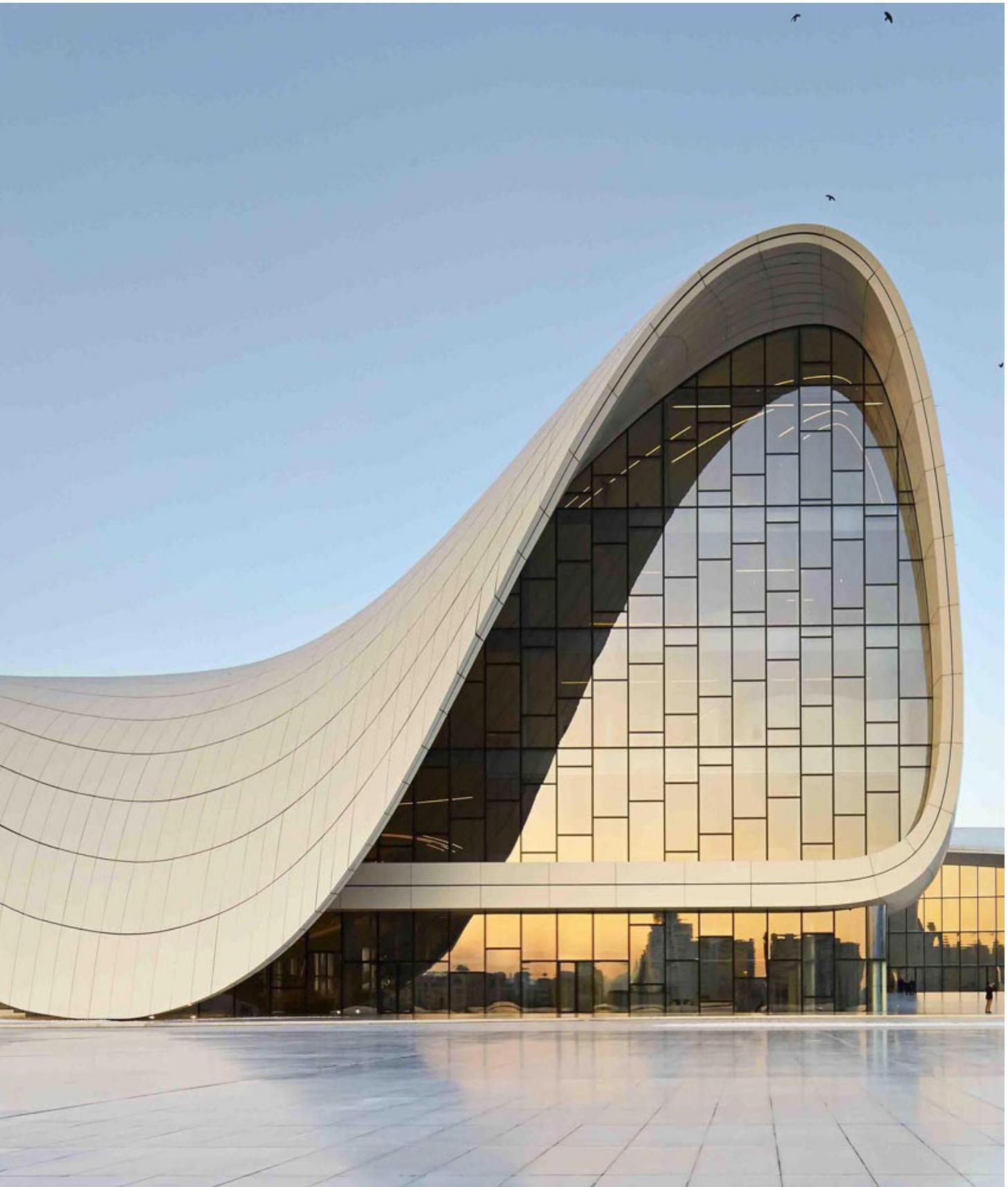
Fotografía de maqueta de Stadium N, Luigi Moretti, 1960 para la XII trienal de Milán.

edificios. Cada movimiento arquitectónico se traducía en un determinado ajuste de parámetros, que daba como resultado una forma específica del edificio. Los diseños de Hadid son hasta hoy ejemplos perfectos de la posible cuantificación del diseño arquitectónico en conjuntos de parámetros. Sin embargo, su trabajo no habría sido posible sin Grasshopper, un programa informático desarrollado por David Rutten en la década de 2000. Diseñado como una interfaz de programación visual, Grasshopper permite a los arquitectos aislar fácilmente los parámetros impulsores de su diseño, al tiempo que les permite afinarlos de forma iterativa. La sencillez de su interfaz, unida a la inteligencia de las funciones incorporadas, sigue impulsando hoy en día el diseño de la mayoría de los edificios en todo el mundo y ha inspirado a toda una generación de diseñadores “paramétricos”.

Por último, más allá de los beneficios a corto plazo de Grasshopper para el diseño de edificios, una revolución más profunda, impulsada por la parametrización e iniciada a principios de la década de 2000, sigue en marcha hoy en día: el BIM (Building Information Modeling). Encabezado por Philip Bernstein, entonces Vicepresidente de Autodesk, el nacimiento y perfeccionamiento del BIM ha llevado la racionalidad y la viabilidad a un nivel completamente nuevo dentro del sector de la construcción. La idea subyacente del BIM es que cada elemento de un modelo 3D de un edificio es una función de parámetros (propiedades) que dirigen la forma de cada objeto y los documentan.

Sin embargo, la parametrización del diseño ha demostrado en los últimos 10 años haber llegado a un punto muerto, tanto técnica como conceptualmente. El modelado paramétrico, independientemente de sus deficiencias técnicas, está viciado por su premisa teórica: la arquitectura podría ser el resultado de un número fijo de parámetros. El arquitecto podría simplemente codificar, como una abstracción, al margen de su contexto, su entorno y su historia ignorando innumerables parámetros y profundos factores culturales y sociales que participan realmente en el equilibrio urbano. Esta profunda realidad, que combina disciplinas adyacentes de forma sistémica, puede abordarse hoy por fin, cuando nuestra profesión se encuentra con la Inteligencia Artificial.





8

Inteligencia artificial

14. The Advent of Architecture
AI+ Architecture Thesis, p.15,
Harvard GSD, Stanislas Chaillou,
2019.

La Inteligencia Artificial es fundamentalmente un enfoque estadístico de la arquitectura¹⁴. La premisa de la IA, que mezcla principios estadísticos con computación, es un nuevo enfoque que puede mejorar los inconvenientes de la arquitectura paramétrica.

15. J. McCarthy, "Some Expert Systems Need Common Sense", Annals of the New York Academy of Sciences, Volumen 426, 1984.

El “aprendizaje”, tal y como lo entienden las máquinas, corresponde a la capacidad de un ordenador, cuando se enfrenta a una cuestión complicada, primero de captar la complejidad de las opciones que se le muestran y segundo de construir una “intuición” para resolver el problema en cuestión. Este modo de “utilizar el cerebro humano como modelo para la lógica de las máquinas”¹⁵ en lugar de diseñar un modelo determinista, construido para un número determinado de variables y reglas, permite crear parámetros intermedios, a partir de la información recogida de los datos o transmitida por el usuario. Una vez alcanzada la “fase de aprendizaje”, la máquina puede generar soluciones, no limitándose a responder a un conjunto de parámetros predefinidos, sino creando resultados que emulan la distribución estadística de la información que se le ha mostrado durante la fase de aprendizaje. Este concepto está en la base del cambio de paradigma que supone la IA. La independencia parcial de la máquina para construir su propia comprensión del problema.

La penetración de la Inteligencia Artificial en el campo de la arquitectura ya fue pronosticada tempranamente por algunos teóricos que, antes que nosotros, vieron el potencial de la IA para el diseño arquitectónico. Lejos de elaborar algoritmos inteligentes, estos precursores diseñaron y especularon sobre el potencial de tales sistemas. En 1973, Negroponte y su grupo lanzaron URBAN V, una “máquina asistente” que ayudaría al diseñador adaptando la distribución de las habitaciones, definidas como bloques, para optimizar las adyacencias y las condiciones de iluminación a medida que el usuario dibujara sobre una cuadrícula modular. Las correcciones propuestas por el ordenador, afinando los parámetros implícitos, se mostrarían a los usuarios como sugerencias. Ante un conjunto de habitaciones mal colocadas, URBAN V notificaría al usuario: “TED, SE ESTÁN PRODUCIENDO MUCHOS CONFLICTOS”.



9

Imagen de la interfaz de URBAN V.

9

Hasta la llegada de la IA

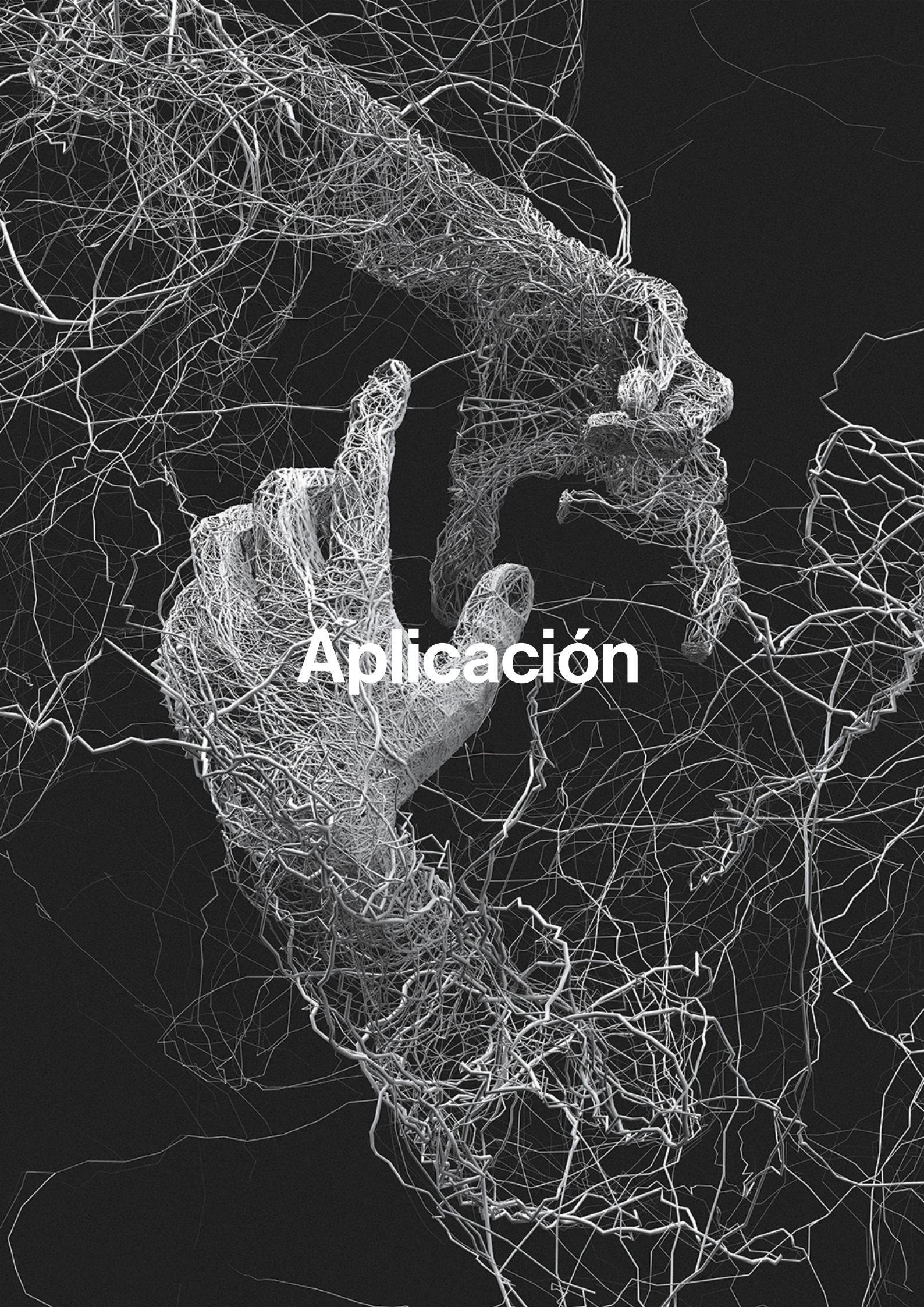
Unos años más tarde, Cedric Price, entonces profesor de la cátedra de Arquitectura de la Universidad de Cambridge, inventó el GENERATOR (1976). Reconociendo el trabajo de Negroponte, Price utilizó el trabajo del AMG (Architecture Machine Group del MIT) sobre IA y lo llevó más lejos, investigando la idea de un edificio autónomo en constante cambio, que respondiera y se adaptara “inteligentemente” a los comportamientos de los usuarios.

La llegada de un nuevo tipo de modelos revelaría definitivamente el potencial de la IA: las redes neuronales y el aprendizaje automático. Mediante la utilización de un sistema de capas, también llamado red, una máquina es ahora capaz de captar complejidades mayores que los modelos desarrollados anteriormente¹⁵. Estos modelos pueden “entrenarse” o, en otras palabras, ajustarse a tareas específicas.

Aunque el potencial de la IA para la arquitectura es bastante prometedor, sigue dependiendo de la capacidad de los diseñadores para comunicar sus intenciones a la máquina. Y como la máquina tiene que ser entrenada para convertirse en un “asistente” fiable, “los arquitectos se enfrentan a dos retos principales: tienen que elegir una taxonomía adecuada, es decir, el conjunto correcto de adjetivos que puedan traducirse en métricas cuantificables para la máquina; y deben seleccionar, en el vasto campo de la IA, las herramientas adecuadas y entrenarlas”¹⁶. Estas dos condiciones previas acabarán determinando el éxito o el fracaso de la arquitectura basada en la IA actualmente.

15. The Advent of Architecture AI+ Architecture Thesis, p.17, Harvard GSD, Stanislas Chaillou, 2019.

16. The Advent of Architecture AI+ Architecture Thesis, p.17, Harvard GSD, Stanislas Chaillou, 2019.

A black and white photograph of a complex, abstract sculpture. The sculpture is composed of numerous thin, white, wire-like or root-like structures that form a human-like figure in a dynamic, running pose. The figure is oriented diagonally, moving from the bottom left towards the top right. The background is a solid black, which makes the intricate white lines stand out.

Aplicación

“Me gustaría imaginar que, con el tiempo, podría desarrollar su propio «socio creativo» personal de IA. Hay dos trabajos para la IA: uno que nos ayude a ser más organizados y productivos automatizando las cosas que contribuyen a la creatividad, pero que no son creativas en sí mismas, y otro que sea más una especie de musa y mago que nos ayude a conjurar ideas inesperadas y viajes aún por imaginar”

1. Gilles Babinet en el artículo “¿Qué se espera en el futuro de la inteligencia artificial?” de Sairah Ashman para Forbes.

Estas palabras¹ de Gilles Babinet, vicepresidente del Consejo Nacional Digital francés y representante de Francia en el ámbito digital en la UE, hablan del impacto actual y futuro de la inteligencia artificial en la figura del artista. Con ellas se pone en evidencia las posibilidades de esta nueva forma de trabajo y augura la “magia” del diseño generativo con inteligencia artificial. Una nueva forma de trabajo que trae consigo sus luces y sombras. Para ello trataré de explorar el potencial, el impacto y los límites de las nuevas tecnologías a través de las posibilidades del diseño generativo, y evaluaré las oportunidades y amenazas que se avecinan en el ámbito artístico y profesional de la arquitectura.

Las posibilidades del diseño generativo

Como se ha expresado anteriormente la irrupción de las nuevas aplicaciones de la inteligencia artificial parece estar abarcando todos los ámbitos del conocimiento. Durante la última década ha tenido un desarrollo exponencial haciendo que la lista de tareas en las que supera al hombre se incremente cada año. Las aplicaciones de la IA en arquitectura son bien extensas y van desde la optimización de la eficiencia energética y recursos en las obras de edificios, como el análisis y simulación del rendimiento estructural. Principalmente van ligadas a la asistencia y evaluación en un diseño. Sin embargo, un uso de la IA destaca sobre el resto, puesto que es y supondrá un nuevo paradigma en el ámbito del diseño, y por ende en el proceso proyectual arquitectónico. Hablamos de la inteligencia artificial generativa.

La inteligencia artificial generativa nos permite crear distintos modelos o respuestas completamente nuevos, acordes a las necesidades expuestas. Por ello, el usuario indica al programa cuáles son los límites y las posibilidades de los objetivos últimos establecidos (input), algunos de estos parámetros pueden ser el material, el costo del proyecto, el emplazamiento, etc, y el software desarrollará automáticamente posibles soluciones (output). En esencia, dices

2. ¿Qué es el diseño generativo y cómo puede aprovecharse en la fabricación?. Artículo de Dan Miles para Redshift, 2022.

3. Acceso QR a ARCHITEChTURES.



4. AI-Powered Building Design. Página web de ARCHITEChTURES.

al algoritmo de diseño generativo que no sabes cuál es la solución, pero que sí sabes cuáles son los requisitos².

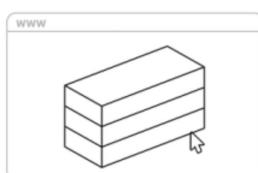
La arquitectura es uno de los múltiples ámbitos donde el diseño generativo es más prometedor. Y es que precisamente, es la figura de creador la que la IA “sustituye” o acompaña. Dentro del gran abanico del diseño generativo podemos distinguir diferentes IAs según su input o output. Podemos encontrar la generación de plantas arquitectónicas y modelado 3D mediante la definición de los parámetros de un proyecto. Un ejemplo de esta tecnología es el caso de ARCHITEChTURES³.

Architechture es una plataforma cloud de diseño arquitectónico asistido por inteligencia artificial fundada en 2016 con sede en Málaga, España. En ella podemos ver una gestión inteligente de los espacios y recursos, así como la evaluación de costes y la eficiencia energética del edificio generado. En palabras de la propia plataforma: “ARCHITEChTURES posibilita un nuevo proceso de diseño residencial completamente disruptivo en una perfecta colaboración entre el hombre y la máquina”⁴.

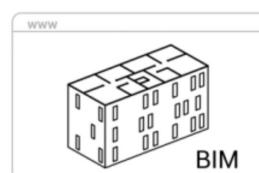
1

Línea de trabajo de ARCHITEChTURES

INPUT



OUTPUT



1.-Introducción de Criterios de Diseño y Modelado

El usuario introduce los criterios de diseño que debe cumplir el proyecto y modela y define online la solución de forma fácil e intuitiva en 2D y 3D.

2.-Desarrollo del Diseño Optimizado con IA

Nuestro sistema de IA en la nube produce en tiempo real la geometría que más se ajusta a los parámetros introducidos para cada iteración del usuario.

3.-Generación de la solución BIM y Datos del Proyecto

La plataforma muestra en tiempo real la solución BIM resultante y todas sus métricas para ser posteriormente descargados en formatos XLSX, DXF e IFC.

Aplicación

The screenshot illustrates the workflow in the ARCHITECTURES software:

- 1.** **Plantillas de edificio**: The main workspace displays a multi-story building plan for "DES BASTOGNES 84 | Above Grade". The plan shows four units: Unit 1 (3B C), Unit 2 (2B L), Unit 3 (2B M), and Unit 4 (2B M). A callout points to the building plan area.
- 2.** **Interfaz de trabajo de ARCHITECTURES**: Points to the left sidebar containing the "GENERAL FLOOR - DESIGN" section.
- 3.** **Métricas integrales**: Points to the "INTERNAL MINIMUM DIMENSIONS" section.
- 4.** **Mediciones y costes**: Points to the "COST" tab in the top navigation bar.

GENERAL FLOOR - DESIGN settings (from sidebar):

- Preset group: Select Preset
- Building orientation: 0 °
- Building Typology: Double loaded Corridor
- Core position: Front
- Corridor ends: Central party wall
- Building width: 16.00 m
- Building length: 31.50 m
- Number of standard floors: 19 floors
- Enable penthouse level: No
- Number of cores: 1
- Number of steps in standard floor stairs: 18
- Standard floor height: 3.33 m
- Number of steps in ground floor stairs: 18
- Ground floor height: 3.33 m
- Lift overhead space: 1.0 m
- Total building height above grade: 66.60 m
- Total building height Δ/G inc. lift overrun: 67.60 m

COST tab selected in the top navigation bar.

Las posibilidades del diseño generativo

6

The screenshot shows a BIM software interface with the following details:

- Top Bar:** Building 0 ▾ Standard Floor 1 ▾ ... Edit Mode: AUTO MANUAL READONLY XLS ▾ CAD ▾ BIM ▾
- Floor Plan:** Shows a building footprint with internal room layouts. Units labeled include Unit 5 Core 1 (2B N), Unit 7 (2B P), Unit 8 (2B K), and Unit 9 (3B D). A dimension of 21.03 m is shown vertically.
- Unit 6 (2B O) Detail:** A specific unit is highlighted with a callout, showing its internal layout.
- BIM Metrics Panel:**
 - Housing Mix in Plot:** Total Units: 100. Target total: 0ud.

	1B Unit	2B Unit	% 3B Unit	4B Unit
Building 0	0	60	40	0
TOTAL	0	60	40	0
Target	-	-	-	-
 - Below Grade Areas and Ratios:** Below Grade Areas and Ratios section.
 - Estimate Summary:** Total Project Estimate (€): 15.705.065,37. Target total (€): 0,00.

	15.705.065,37
Total	15.705.065,37
Target total (€)	0,00
 - Estimate Breakdown (€):**

CONCEPT	TOTAL
Above grade estimate	9.769.190,32
- Site Works	0,00
- Building 0	9.769.190,32
Below grade estimate	1.415.160,47
General Conditions	447.374,04

2

5

Actualmente la plataforma está enfocada al uso residencial plurifamiliar, aunque enuncian que progresivamente irán incorporando nuevos usos (unifamiliar, oficinas, hoteles,...). Tras la introducción detallada de criterios de diseño, la IA genera un modelo BIM en tiempo real navegable, superficies y datos del proyecto al instante, y medición y presupuesto actualizados (Fig. 1). “ARCHITEChTUR-RES engloba todo este proceso, ayudando al diseñador a cumplir de forma óptima y en tiempo real con los requerimientos cuantitativos para enfocarse en aportar el mayor valor arquitectónico al proyecto”⁵. Todo ello lo engloba como una potente herramienta de productividad que reduce drásticamente los tiempos iniciales del diseño residencial de meses a horas. En la línea de ARCHITEChTURES encontramos otras IAs con los mismos principios como Plan Finder o Finch.

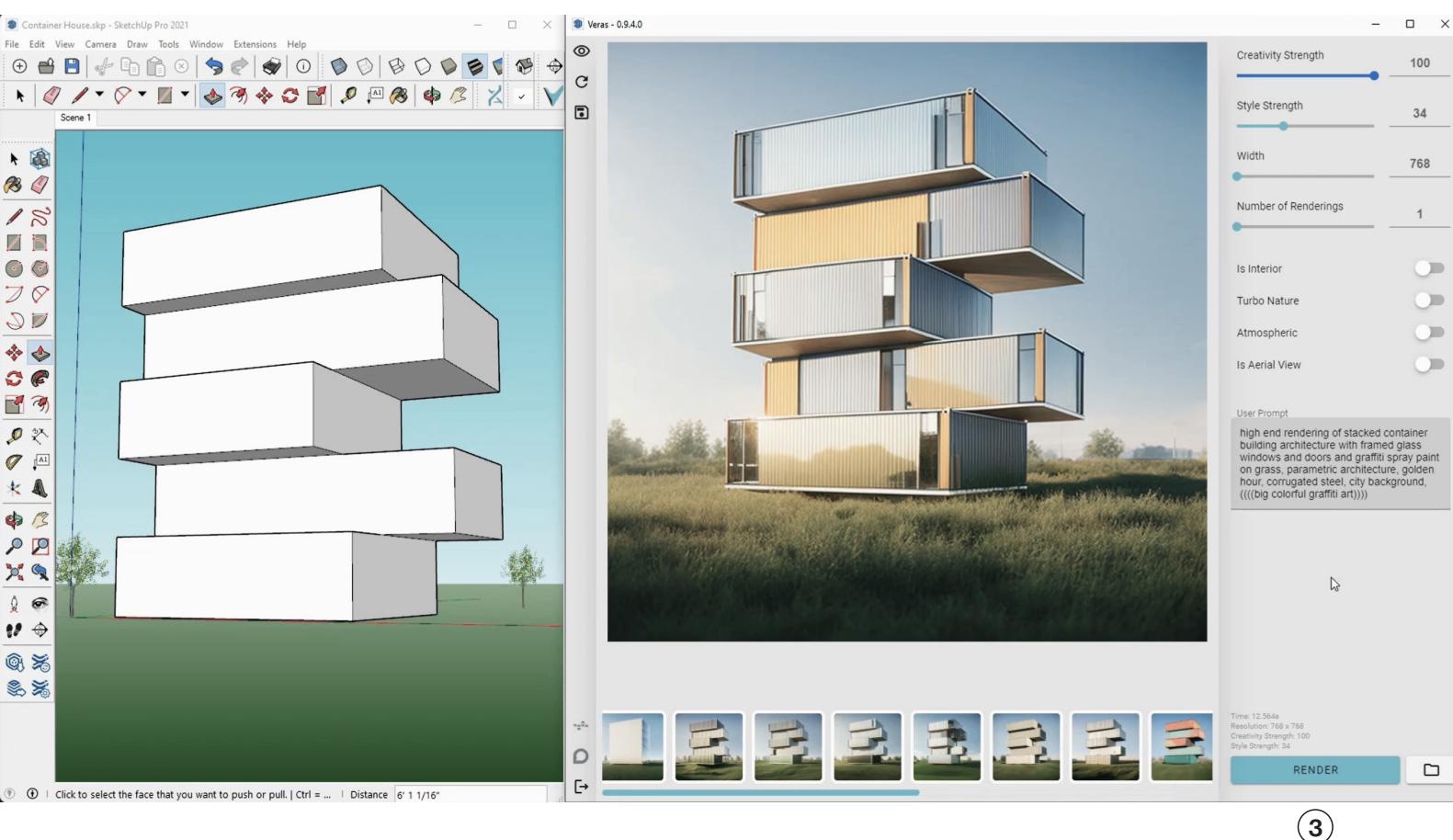
Otro tipo de inteligencia artificial generativa son aquellas dedicadas a la síntesis de imágenes a través de contextos verbales y visuales. En esencia, estas IAs pueden realizar la traducción de información textual a posibles representaciones visuales asociadas. En términos más sencillos, sobre una frase dada te devuelven una amplia variedad de imágenes, que se ajustan a la descripción transmitida. Estas herramientas como DALL-E, MidJourney, Text2Art o Stable Diffusion se entrena con cientos de millones o billones de parejas texto/imagen y usan modelos con decenas o centenas de millones de parámetros⁶. Una herramienta que también pertenece a este tipo de IA generativa es VerasAI⁷. Lo interesante de ella es que está integrada en los principales programas de modelado 3D como son SketchUp, Revit y Rhinoceros, pudiendo realizar directamente sobre el modelo posibles renderizados. Como observamos en la figura 3, el programa se ejecuta como una nueva pestaña sobre SketchUp, y a través de la definición de 8 parámetros y una descripción detallando qué queremos, obtenemos una imagen basada en la vista del modelo 3D. Los parámetros principales (creativity y style strength) ajustan el porcentaje de fidelidad al modelo y a la descripción escrita respectivamente.

5. AI-Powered Building Design. Página web de ARCHITEChTUR-RES.

6. Arquitecturas inconclusas: Una perspectiva desde la inteligencia artificial, p.3 Artículo de Elena Merino Gómez, Fernando Moral Andrés, Pedro Reviriego Vasallo, Universidad de Valencia, 2023.

7. Acceso QR a VerasAI





③

Imagen de la interfaz de VerasAI.

Otra aplicación de gran relevancia en la síntesis de imágenes por ordenador podría ser la utilización del croquis como parámetro base para la inteligencia artificial. El croquis se trata de la primera herramienta en el proceso de creación de un proyecto arquitectónico. En él, se muestra la idea creativa de la que nace el proyecto. Una declaración de intereses. El uso de la IA sobre esta primera herramienta abre un sin fin de posibilidades creativas (Fig. 4).

Estos son algunos de los ejemplos más prácticos actualmente de inteligencia artificial generativa para el diseño arquitectónico. Como podemos ver la IA es una herramienta más que apoya el proceso creativo del arquitecto. Pero ¿hasta qué punto el papel del arquitecto corre peligro? ¿cómo puede afectar la IA a la vida de las personas? ¿quién tiene la autoría en el diseño generado? ¿Qué desafíos futuros contempla la IA?

Aplicación

Croquis del City Hall de Londres por Norman Foster

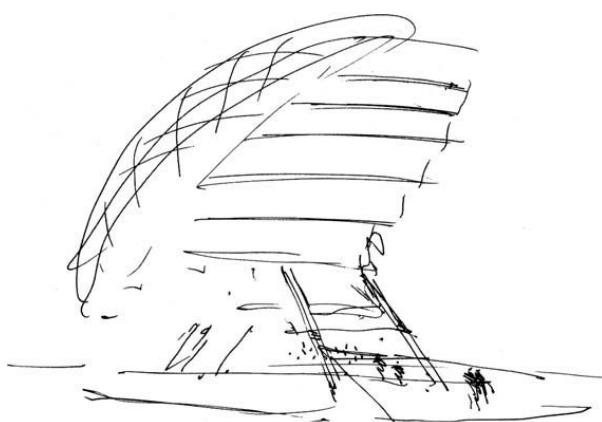


Imagen real del City Hall



Interpretaciones generadas por VerasAI



Diferentes interpretaciones generadas con VerasAI del City Hall de Londres a través del croquis de Norman Foster.

4

Desafíos e implicaciones éticas y profesionales

8. Artículo de Forbes sobre Inteligencia Artificial, 2023.
El 47% de los españoles cree que la IA puede afectar a su puesto de trabajo.

El 47% de los españoles creen que la inteligencia artificial puede afectar a su puesto de trabajo, según un estudio presentado por la compañía Atrápalo⁸, que revela que las profesiones que se perciben como más amenazadas por la llegada de esta tecnología son las de programador (60%), diseñador (55%), periodista (44%) y matemático (43%). Por otro lado, el estudio señala que el 65% de los españoles verían de manera positiva la incorporación de la inteligencia artificial en su trabajo si eso les permitiera disfrutar de más tiempo de ocio.

9. Gilles Babinet en el artículo "¿Qué se espera en el futuro de la inteligencia artificial?" de Sairah Ashman para Forbes.

Durante décadas, las tecnologías basadas en IA eran demasiado complejas para su uso generalizado. Sin embargo, ahora son más sencillas y fáciles de usar, por lo que es mucho más probable que estas se prueben y apliquen a gran escala⁹. Y es que este ha sido el principal avance de la IA en los últimos años, llevarlos a escala y cambiar la comprensión de la gente para que no tenga ninguna duda del poder que puede llegar a tener la IA. Quizás el mejor ejemplo de este auge de la IA ha sido ChatGPT, el cual ha roto la barrera de lo profesional y es utilizado por millones de personas a diario.

10. The Age of AI: And Our Human Future, p. 21
Libro de Daniel P. Huttenlocher,
Eric Schmidt y Henry Kissinger.

5

Página 87 del guión de la película "Her" de Spike Jonze.

Pero todo esto conlleva enormes riesgos, desde la desinformación y las estafas financieras, hasta la confianza en los demás, e incluso la propia figura del diseñador puede verse en peligro con esta nueva tecnología. Como han escrito conjuntamente Henry Kissinger y Eric Schmidt, la IA puede ser el mayor reto al que se haya enfrentado jamás nuestro mundo moderno¹⁰.

La tecnología ha avanzado tanto que hasta puede hacerte creer que estás hablando con una persona real (Fig. 5). Como es en el caso de las estafas amorosas con IA. Este tipo de estafa consiste en utilizar inteligencia artificial para crear perfiles falsos y manipular a las víctimas para que envíen dinero o información personal. Por desgracia, estas estafas son cada vez más comunes y sofisticadas, ya que los estafadores se aprovechan de personas desprevenidas que buscan el amor en Internet.

Pero más concretamente ¿qué desafíos puede conllevar la IA en el mundo de la arquitectura? ¿Se va a producir una deshumanización de los procesos?

La arquitectura es el arte y la ciencia de diseñar y construir edificios y otras estructuras físicas. La palabra arquitectura proviene del griego “architecton”, que significa “constructor” o “maestro constructor”. La arquitectura combina la creatividad y la técnica para crear edificios y espacios que sean funcionales, estéticamente atractivos y capaces de resistir las fuerzas naturales. Los arquitectos utilizan una variedad de herramientas y técnicas, como el dibujo a mano, la visualización en 3D, el modelado digital y la simulación por ordenador para diseñar y planificar edificios. Sin embargo en los últimos años la IA se ha convertido en otra gran herramienta proyectual y como cualquier herramienta, esta dependerá de cómo la usemos.

Anteriormente hemos podido observar las posibilidades del diseño generativo con IA. Nuestro “socio creativo” personal que nos permite automatizar las cosas que contribuyen a la creatividad, pero

Her

pg. 87

CONTINUED: (2)

PAUL

Well, no. Obviously your brain is
really hot, too. I think it's very
hot.

SAMANTHA

Bullshit.

Everyone laughs.

SAMANTHA (CONT'D)

Nice try though, Paul.

TATIANA

(to Theodore)

What about you, Theodore? What do
you love most about Samantha?

THEODORE

Oh god... she's so many things. And
that's probably what I love most
about her - she isn't just any one
thing. She's so much larger than
that.

SAMANTHA

(touched)

Aw thanks, Theodore.

PAUL

See? Samantha, he is so much more
evolved than I am.

SAMANTHA

You know, I actually used to be so
worried about not having a body,
but now I truly love it. I'm
growing in a way that I couldn't if
I had a physical form. I mean, I'm
not limited - I can be anywhere and
everywhere simultaneously. I'm not
tethered to time and space in the
way that I would be if I was stuck
inside a body that's inevitably
going to die.

5

Everyone takes this in, uncomfortable.

PAUL

Yikes.

Everyone laughs awkwardly.

Fragmento de guión de la película "Her" de Spike Jonze que narra la historia de Theodore, un escritor desanimado que desarrolla una relación amorosa especial con el sistema operativo de su ordenador y su teléfono, una intuitiva y sensible entidad llamada Samantha.

11. Gilles Babinet en el artículo “¿Qué se espera en el futuro de la inteligencia artificial?” de Sairah Ashman para Forbes.

12. Artículo de María Lorente para Forbes, Capgemini IA Revolution: Inteligencia Artificial Generativa | La Inteligencia Artificial ha llegado para quedarse. 2023.

13. Artículo de Alicia Aragón, Nuevos cimientos tecnológicos: La inteligencia artificial ya da forma a la casa del mañana. .2023.

14. Artículo de Alicia Aragón, Nuevos cimientos tecnológicos: La inteligencia artificial ya da forma a la casa del mañana. .2023.

que no son creativas en sí mismas, y ayudar con aquellas que sí que lo son. “Durante mucho tiempo nos hemos visto obligados a seguir una norma común basada en las limitaciones tecnológicas, y será emocionante ver cómo cambia a medida que nosotros y la tecnología evolucionamos juntos de formas conceptualmente diferentes y construidas de forma distinta”¹¹.

Como sostiene Albert Pla Planas, responsable de Ciencias Computacionales y Datos I+D Digital de Sanofi: “La IA es solo una aliada, que nos va a ayudar a eliminar las tareas más tediosas y a reducir los tiempos de procesamiento y análisis de datos, pero no va a sustituir la creatividad de las personas”¹². Por lo tanto, la IA necesitará tener detrás al factor humano, cuya creatividad e ingenio no pueden reemplazarse por máquinas¹³. Laureano Matas, secretario general del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (Cscae) quién también describe la IA como “una herramienta más que apoya el proceso creativo del arquitecto y que puede ayudar a ganar en eficacia y mayor precisión en el conocimiento adelantado del modelo virtual construido” está convencido de que el papel de los arquitectos no peligra porque “su visión integral, que aúna conocimiento técnico y humanístico, es imprescindible”, añadiendo que “un uso inadecuado de la tecnología dará lugar a soluciones irreales, difíciles de construir y poco integradas con el entorno”¹⁴. El talento del arquitecto va a seguir siendo clave, al igual que los recursos, siendo el verdadero reto el de aprender a controlar la IA Generativa.

Apoyarse en la IA para automatizar ciertos procesos dentro de todo el ciclo de vida de un edificio ayuda a liberar a los profesionales de las tareas rutinarias y a elevar su rendimiento. Sin embargo, la destrucción de empleo a manos de esa tecnología es el mensaje que está calando en la sociedad.

Otra de las cuestiones es el derecho de autoría de las obras generadas con IA. Poniendo el caso de las IAs de generación de imágenes como VerasAI o DALL-E, estas son entrenadas con millones

de imágenes y datos con copyright. Podemos pensar que en el proceso de creación de una nueva imagen, la IA realiza collages con los millones de datos con los que se ha entrenado, pero la realidad es que ha generado una imágenes completamente nueva en base a la idea de lo que ha aprendido de las anteriores.

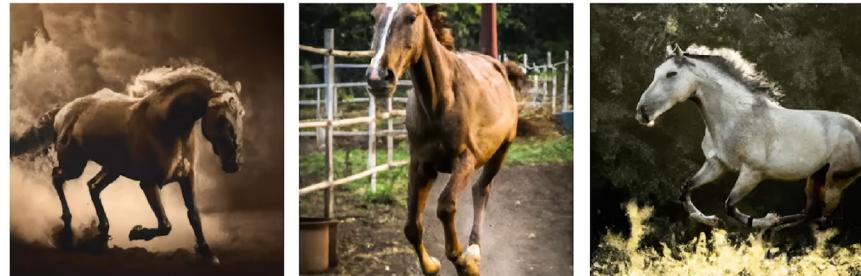
Por ejemplo, la Inteligencia artificial puede observar varias imágenes de un caballo y abstraer cuáles son los patrones comunes que lo conforman: texturas, formas, colores, relaciones entre elementos, etc. Estaría aprendiendo qué es lo que conforma un caballo a partir de estas imágenes y aplicaría estos conocimientos para generar nuevos caballos que no existen (Fig 6). Esto no queda solo en aprender objetos o animales con varias imágenes de un estilo artístico concreto, la IA puede extraer el factor común de todas ellas y aplicar ese estilo aprendido a otras imágenes (Fig 7), como por ejemplo las distorsiones ópticas que se producen al sumergir un objeto bajo el agua (Fig 8). Además lo interesante es que con este conocimiento aprendido puede combinarlo para generar nuevas imágenes que no necesariamente tiene que haber visto durante su entrenamiento. Como por ejemplo la imagen de un caballo bajo el agua pintado por Van Gogh (Fig 9). De modo que no se tratan de un copia y pega de imágenes, sino que son creaciones únicas cuyo uso y propiedad pertenece a la persona que la ha generado. Esto es aplicable al resto de tipos de IAs generativas.

Lo que sí queda claro es que la IA ha empezado a dar pasos agigantados en muy pocos años y va a ir más. No podremos saber cual es el alcance. Claro ejemplo de ello es la figura del delineante que en los decada de los 80 que se desdibujó con la llegada del diseño asistido por ordenador (CAD). ¿Qué pasará cuando la IA aune los conocimientos humanísticos y técnicos mejor que un humano?. Ahora son más las preguntas que las respuestas pero igual que con cada revolución tecnológica pasada podemos observar que el trabajo no se destruye, sino que se transforma. Así pues, las herramientas avanzan, y con ellas nuestra forma de trabajar.

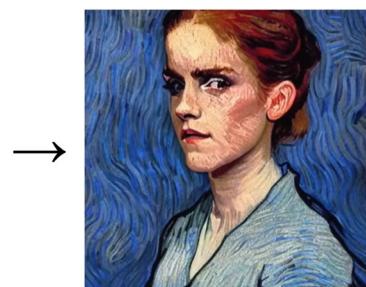
Aplicación



Patrones comunes

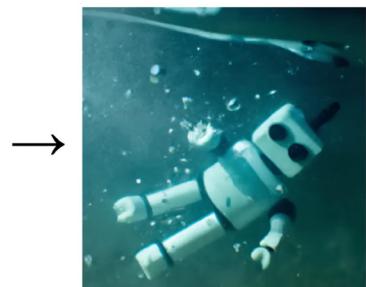


Generación del concepto de un caballo a través de millones de imágenes. **6**



Imágenes generadas por IA en un estilo concreto

7



Aplicación de un estilo determinado a otras imágenes.



Combinaciones de patrones

Combinación de conceptos y estilos por IA. **9**



Caso práctico

Residencia para jóvenes artistas en Telde, Gran Canarias

Localización:

- Zona enmarcada por la calle Lola Massieu y calle los Gofiones.

Requisitos:

- 1.500m² de uso residencial
- Viviendas plurifamiliares con distintas tipologías
- Aparcamiento
- Ámbito para pequeñas exposiciones
- Zona común de trabajo y estudio
- Cafetería

Presupuesto:

- 3.000.000 Euros

Para la elección del caso práctico he decidido tomar un caso de proyecto muy recurrente en las clases de proyectos: la vivienda para jóvenes artistas. Del mismo modo, su localización también ha sido tomada en base a uno de los ejercicios realizados en clase.

Se propone la construcción de un complejo residencial para jóvenes artistas en la ciudad canaria de Telde, más concretamente en el solar entre la calle Lola Massieu y la calle los Gofiones(Fig. 1, 2 y 3). Telde es una ciudad y municipio español perteneciente a la isla de Gran Canaria, en la provincia de Las Palmas, comunidad autónoma de Canarias. Con 102 472 habitantes en 2022, es el segundo municipio más poblado de Gran Canaria, tras Las Palmas de Gran Canaria, y el cuarto en toda Canarias.



Situación del caso práctico ①



②



③

El proyecto deberá contar con viviendas para distintos tipos de familia. Debe contemplarse que a estas residencias pueden venir artistas en solitario, en pareja, o con algún niño pequeño, de modo que buscan viviendas con una habitación (Tipo 1), o con dos (Tipo 2). Además cada vivienda debe contar con una zona de aparcamiento.

Sumado al uso residencial se propone un ámbito para pequeñas exposiciones, una zona de estudio e investigación con biblioteca y salas de trabajo, y un lugar de encuentro con una cafetería que puede ser pública, con zona de descanso y entretenimiento.

Metodología

El propósito de este trabajo es el de explorar la respuesta de la IA ante la creación de un proyecto arquitectónico. El principio base para la realización del caso práctico se trata de tener la mayor presencia posible de inteligencia artificial en el proceso proyectual de la propuesta. Por ello, para la elección de las plataformas basadas en IA he tenido en cuenta tres fundamentos:

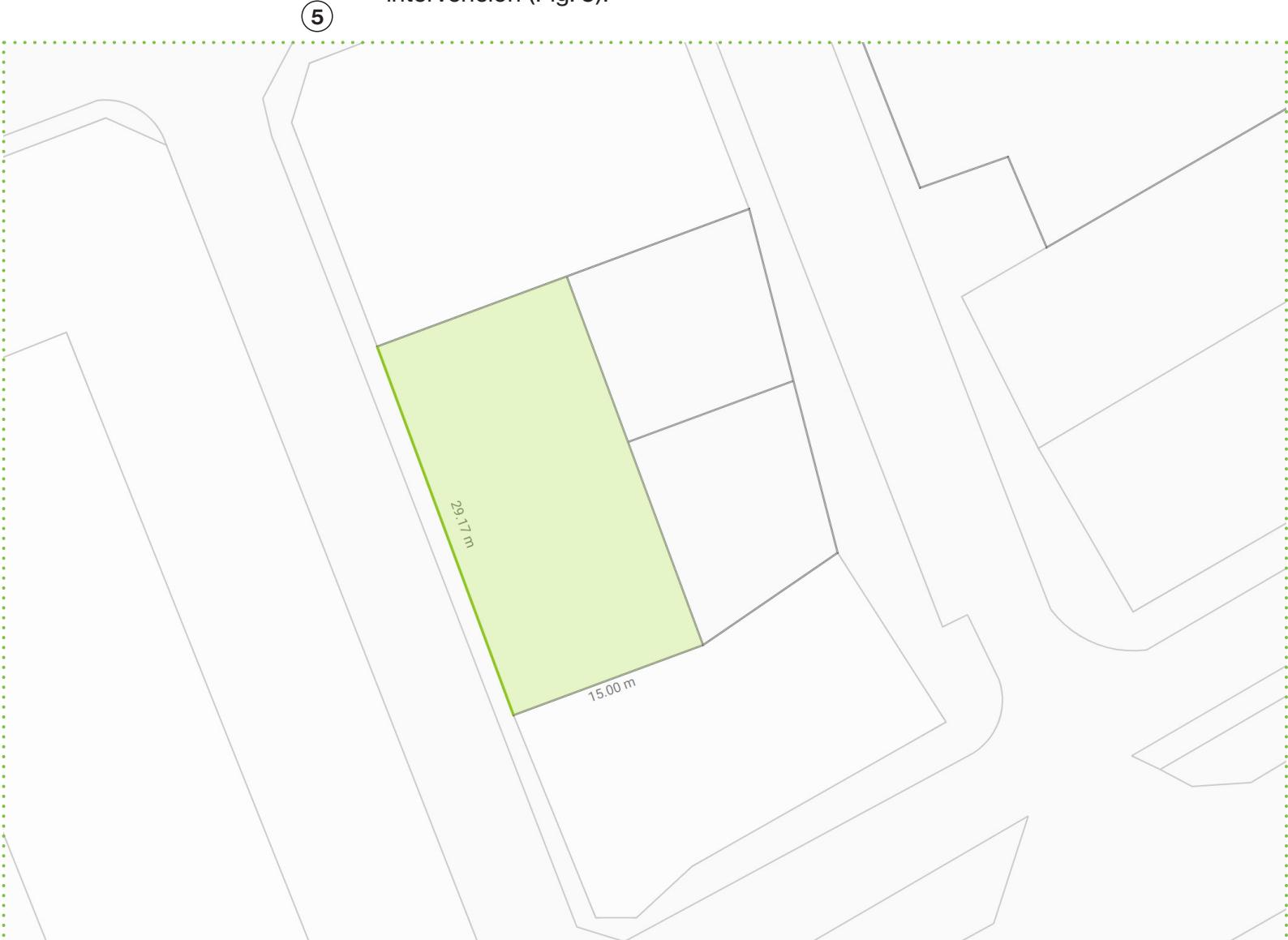
1. El uso de plataformas que estén al alcance de mi mano territorial y económica.
2. Que pueda integrar en los programas de mi flujo de trabajo habitual.
3. Que me permitan definir al máximo la generación de idea, planos, modelado y visualización de la propuesta.

De modo que trabajaré con dos de las IAs basadas en diseño generativo anteriormente mencionadas y explicadas: ARCHITEChTURES y VerasAI. ARCHITEChTURES me permitirá la gestión inteligente del espacio, generando una solución con planos arquitectónicos, modelado 3D, y coste aproximado del proyecto. Mientras que VerasAI podrá realizar la síntesis de imágenes del modelo creado.

Propuesta

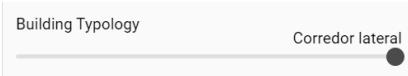
Tras el estudio del entorno decidido ocupar las medianeras sin cerramientos exteriores dejando el resto del solar como una plaza pública a la que se volcarán todas las viviendas (Fig. 4).

Habiendo detallado la zona de ocupación, introduzco el plano base en ARCHITEChTURES y creo un volumen que cubra todo el espacio de la intervención (Fig. 5).

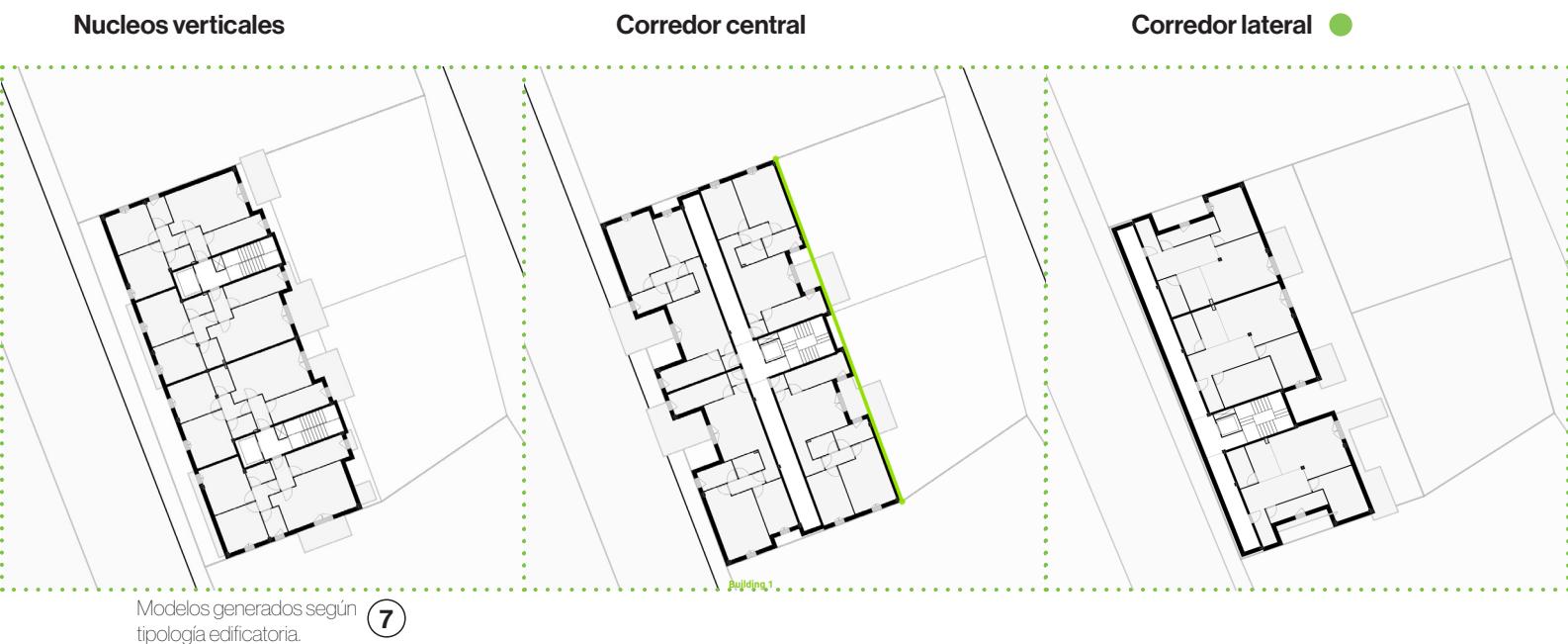


⑥

El programa genera automáticamente una propuesta en planta y volumétrica según los parámetros predeterminados. El parámetro más restrictivo, y por ende, el primero en elegir, es la tipología edificatoria (Fig. 6). Con él se define el tipo de núcleo y de acceso a las viviendas.



Caso práctico



HOUSING MIX 8

Preset group Select Preset

TARGET MIX IN STANDARD FLOOR

% Target housing mix 4B	0 %
% Target housing mix 3B	0 %
% Target housing mix 2B	33 %
% Target housing mix 1B	55 %
% Target housing mix Studios	12 %

Error coefficient in number of units 0.90 %

TERRACES - GENERAL FLOOR 9

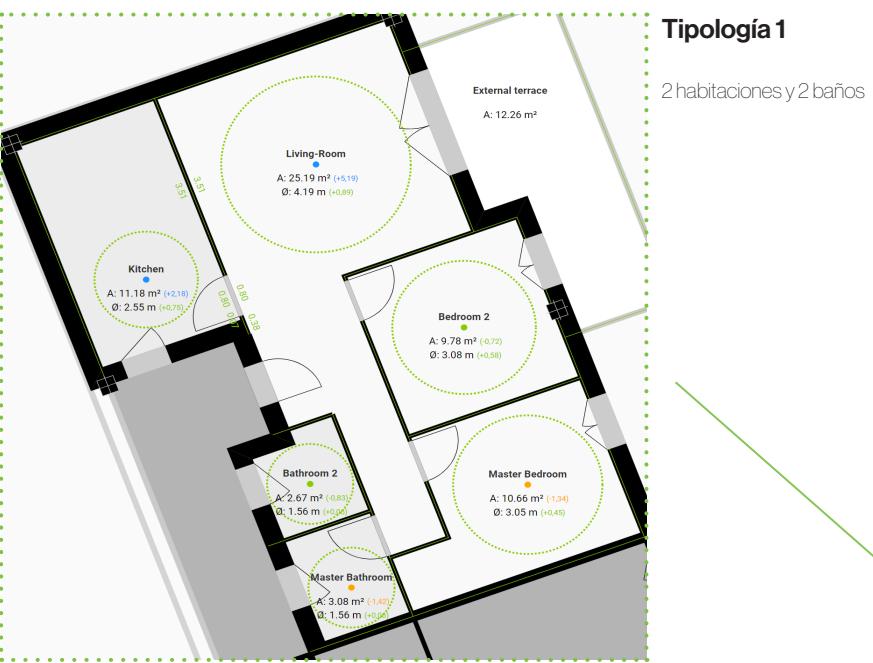
Preset group Select Preset

Terraces access minimum width	1 m
Terrace minimum width	5.00 m
Terrace position on facade	0.60
Position diversity of terraces on facade	0.33

Siguiendo la idea del proyecto de potenciar el espacio público entre las medianeras existentes decidí escoger la tipología edificatoria de corredor lateral puesto que me permite focalizar las estancias principales hacia la plaza al mismo tiempo que el ancho del edificio queda ajustado.

De este modo, continué definiendo parámetros acercando el modelo a los requisitos del proyecto. Entre los parámetros modificados están el número de plantas y su altura, los metros cuadrados de cada estancia, la ventilación de habitaciones a través de zonas comunes, el porcentaje de viviendas según el número de habitaciones en cada planta (Fig. 8), etc. Sin embargo, no todos los parámetros son elegidos en torno al programa del ejercicio práctico, sino que también tengo en cuenta valores estéticos y de composición en fachada como por ejemplo los parámetros de las terrazas (Fig. 9).

Tras modificar los parámetros realicé modificaciones manuales tales como ajustar tabiques y ventanas directamente sobre la planta hasta llegar a propuesta final (Fig. 10)



Planta tipo

0B E

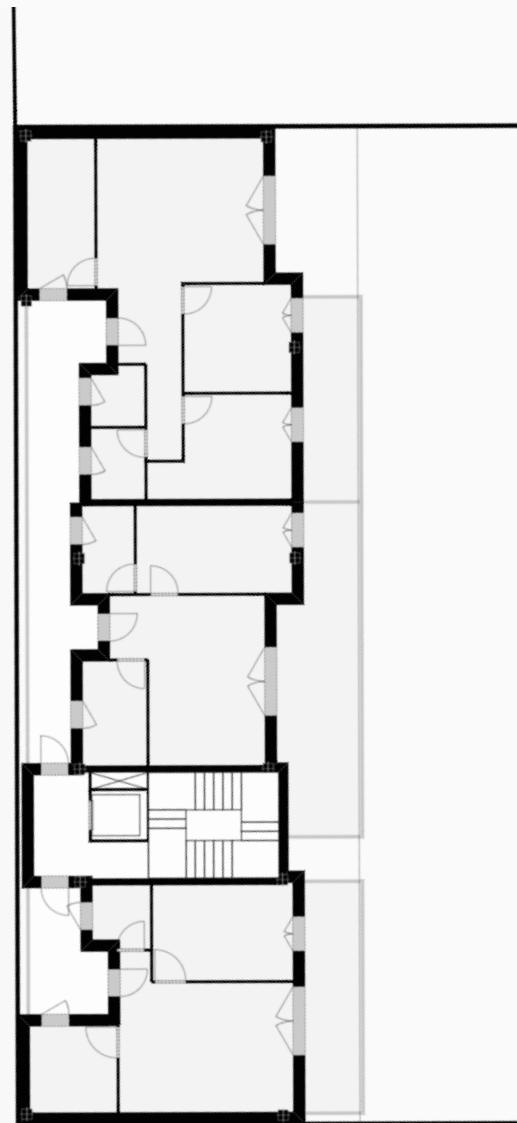
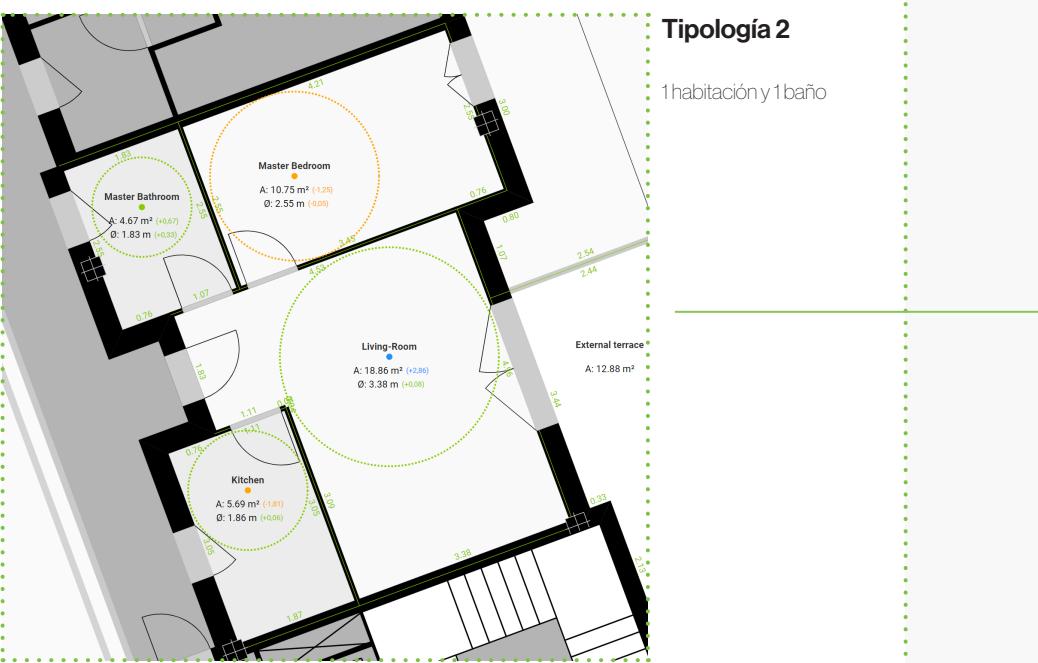
1 Units in building (4,76 %)

Total Net	39,96 m ²	GEA	42,72 m ²
NIA	39,96 m ²	GEA + BCAF	61,26 m ²
Net Exterior	0,00 m ²	NIA/GEA+BCAF	0,65

2B B

2 Units in building (9,52 %)

Total Net	72,22 m ²	GEA	72,82 m ²
NIA	62,55 m ²	GEA + BCAF	104,41 m ²
Net Exterior	9,68 m ²	NIA/GEA+BCAF	0,60



Tipología 3

1 habitación y 1 baño



Propuesta final en planta tras la modificación de parámetros **(10)**

▲ BUILDING AREA SCHEDULE

AREAS	GROSS EXTERNAL AREA	ZONING FLOOR AREA
Total Area	1.577,27 m ²	1.304,94 m ²
Residential	1.461,61 m²	1.189,28 m²
Residential Indoor	1.046,34 m ²	1.015,97 m ²
- Housing	763,73 m ²	763,73 m ²
- Common Areas	282,61 m ²	252,24 m ²
Covered Terraces	332,80 m ²	173,31 m ²
- Internal Terraces	13,82 m ²	13,82 m ²
- External Terraces	318,98 m ²	159,49 m ²
Uncovered Terraces	82,47 m ²	0,00 m ²
Porches and Colonnades	0,00 m ²	0,00 m ²
Commercial Premises	66,95 m²	66,95 m²
Communal Premises	48,71 m ²	48,71 m ²
Mechanical	0,00 m ²	0,00 m ²

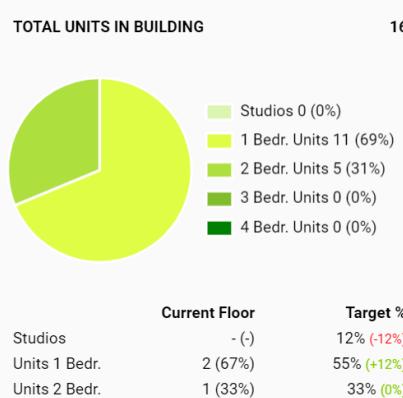
RESIDENTIAL RATIOS	
Net Internal Area (NIA)	660,41 m ²
GEA + Common Areas	1.095,05 m ²
NIA / GEA + CA Ratio	0,60

(13)



(12)

▲ UNITS IN BUILDING



	Current Floor	Target %
Studios	- (-)	12% (-12%)
Units 1 Bedr.	2 (67%)	55% (+12%)
Units 2 Bedr.	1 (33%)	33% (0%)

▲ PLOT AREA SCHEDULE

DEVELOPMENT POTENTIAL	
Planned total	1.256,23 m ²
Target total	0,00 m ²
Planned residential	1.189,28 m ²
Target residential	0,00 m ²
Planned commercial	66,95 m ²
Target commercial	0,00 m ²

BUILDING COVERAGE	
Planned Building Coverage	0,00 m ²
Target Building Coverage	0,00 m ²

(11)



AREAS

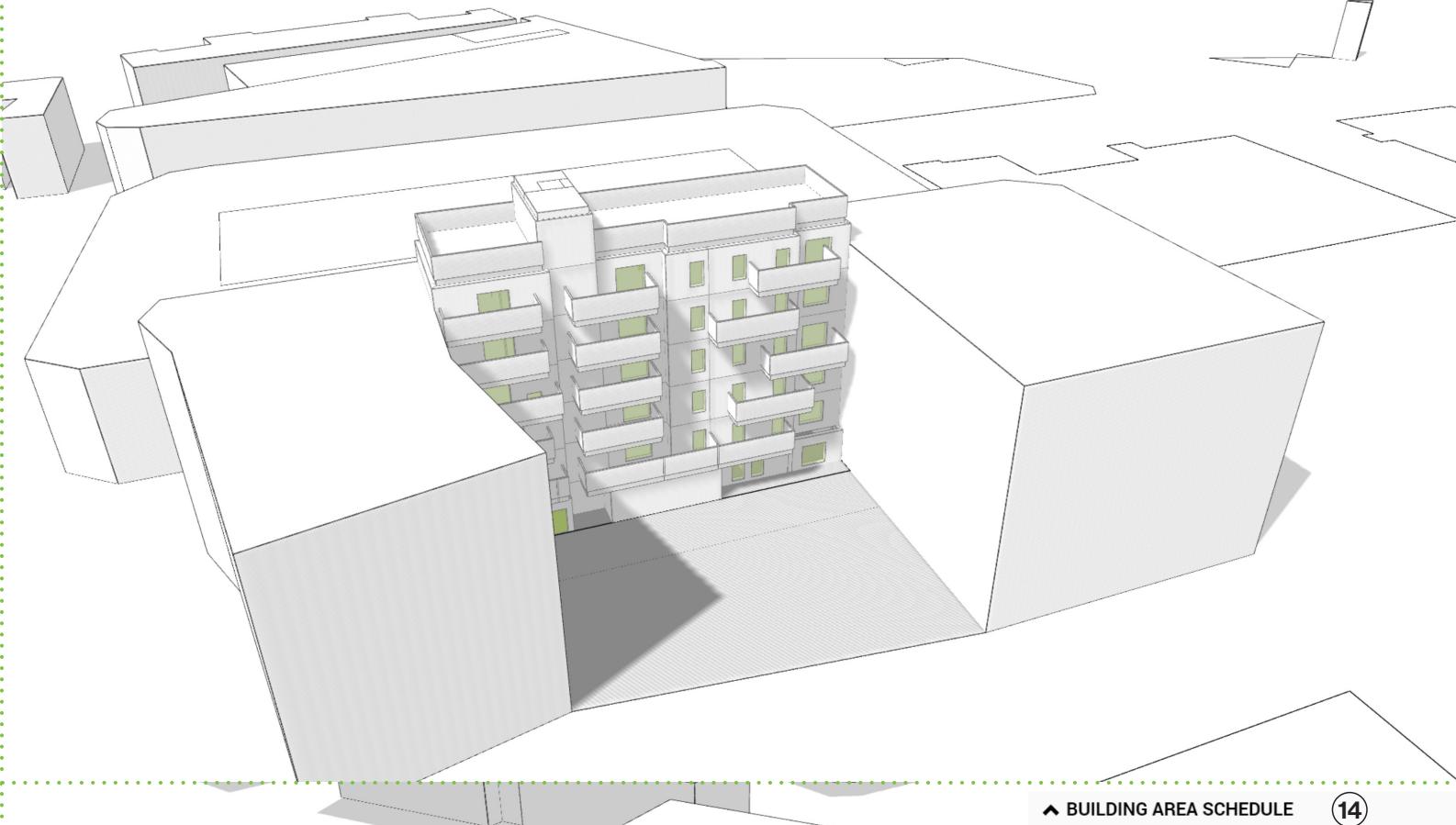
AREAS	GROSS EXTERNAL AREA	ZONING FLOOR AREA
Total Area	1.577,27 m ²	1.304,94 m ²
Residential	1.461,61 m²	1.189,28 m²
Residential Indoor	1.046,34 m ²	1.015,97 m ²
- Housing	763,73 m ²	763,73 m ²
- Common Areas	282,61 m ²	252,24 m ²
Covered Terraces	332,80 m ²	173,31 m ²
- Internal Terraces	13,82 m ²	13,82 m ²
- External Terraces	318,98 m ²	159,49 m ²
Uncovered Terraces	82,47 m ²	0,00 m ²
Porches and Colonnades	0,00 m ²	0,00 m ²
Commercial Premises	66,95 m²	66,95 m²
Communal Premises	48,71 m ²	48,71 m ²
Mechanical	0,00 m ²	0,00 m ²
Site Works	282,55 m ²	282,55 m ²

RESIDENTIAL RATIOS

Net Internal Area (NIA)	660,41 m ²
GEA + Common Areas	1.095,05 m ²
NIA / GEA + CA Ratio	0,60

De la misma manera se genera la planta baja (Fig. 11) y de garaje (Fig. 12), así como los datos del proyecto (superficies, ratios, número y tipo de viviendas, etc) (Fig. 13 y 14), el modelo 3D (Fig. 15 y 16), el costo aproximado del proyecto final (Fig. 17) pudiendo elegir los parámetros característicos a cada ventana.

(15)



▲ BUILDING AREA SCHEDULE

(14)



AREAS

	GROSS EXTERNAL AREA	ZONING FLOOR AREA
Total Area	1.577,27 m²	1.304,94 m²
Residential	1.461,61 m²	1.189,28 m²
Residential Indoor	1.046,34 m ²	1.015,97 m ²
- Housing	763,73 m ²	763,73 m ²
- Common Areas	282,61 m ²	252,24 m ²
Covered Terraces	332,80 m ²	173,31 m ²
- Internal Terraces	13,82 m ²	13,82 m ²
- External Terraces	318,98 m ²	159,49 m ²
Uncovered Terraces	82,47 m ²	0,00 m ²
Porches and Colonnades	0,00 m ²	0,00 m ²
Commercial Premises	66,95 m²	66,95 m²
Communal Premises	48,71 m²	48,71 m²
Mechanical	0,00 m²	0,00 m²

RESIDENTIAL RATIOS

Net Internal Area (NIA)	660,41 m ²
GEA + Common Areas	1.095,05 m ²
NIA / GEA + CA Ratio	0,60

(16)

Caso práctico

PROJECT ESTIMATE

▲ TOTAL DIRECT CONSTRUCTION COSTS

TOTAL ABOVE GRADE DIRECT CONSTRUCTION COSTS
SITE WORKS
BUILDING 0
TOTAL BELOW GRADE DIRECT CONSTRUCTION COSTS

▲ A - SUBTOTAL NET CONSTRUCTION COSTS (% SNCC)

DESCRIPTION

TOTAL	TOTAL DIRECT CONSTRUCTION COSTS
A.00	Quality assurance
A.01	Occupational health and safety
A.02	Waste management
A.03	Other general conditions

▲ B - ESTIMATED NET CONSTRUCTION COST (% ENCC)

DESCRIPTION

TOTAL	SUBTOTAL NET CONSTRUCTION COSTS
B.00	Overhead
B.01	Profit

▲ C - PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN CONTRATA + SOFT COSTS (% SOFT COSTS)

DESCRIPTION

TOTAL	TOTAL ESTIMATED NET CONSTRUCTION + SOFT COSTS
C.00	Feasability studies fees
C.01	Design and inspection fees
C.02	Escalation, bond and insurance
C.03	Permits, licenses & fees
C.04	Contingencies

▲ RATIOS

DESCRIPTION

R.00	Estimated Net Construction Cost (ENCC) / Units
R.01	Site Works ENCC / Site Works Area
R.02	PEC Residencial / Superficie Residencial
R.03	Below Grade ENCC / Below Grade GEA

(17) Coste aproximado del proyecto generado por ARCHITECTURES.

PROJECT'S CURRENCY: Euro(EUR) - €

2.204.789,01

1.547.839,50

1.547.839,50

100.479,76

1.447.359,73

0,00

1.625.231,47

QUANTITY**COST****TOTAL**

1.547.839,50

1.547.839,50

1,00 %

15.478,39

1.547.839,50

2,00 %

30.956,79

1.547.839,50

1,00 %

15.478,39

1.547.839,50

1,00 %

15.478,39

1.934.025,45

QUANTITY**COST****TOTAL**

1.625.231,47

1.625.231,47

13,00 %

211.280,09

1.625.231,47

6,00 %

97.513,89

2.204.789,01

QUANTITY**COST****TOTAL**

1.934.025,45

1.934.025,45

0,50 %

9.670,13

1.934.025,45

7,00 %

135.381,78

1.934.025,45

0,50 %

9.670,13

1.934.025,45

6,00 %

116.041,53

1.934.025,45

0,00 %

0,00

RATIO

1.934.025,45

16 DUs

120.876,59 /viv

125.549,46

1.853,77 m²67,73 €/m²

1.808.475,99

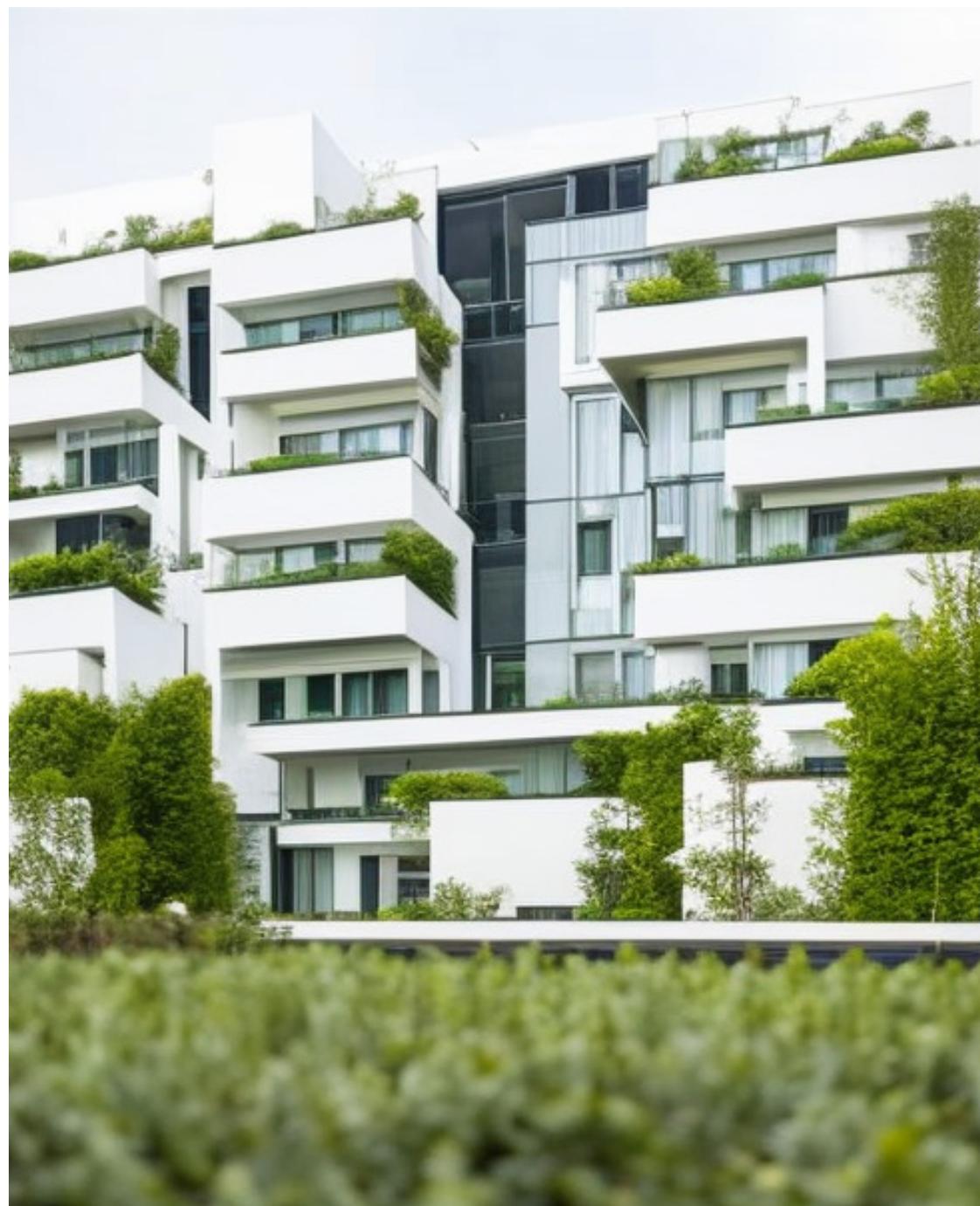
1.461,61 m²1.237,32 €/m²

0,00

0,00 m²0,00 €/m²

Caso práctico

Como último paso y tras haber generado el proyecto volumétricamente con ARCHITEChTURES, es el turno de VerasAI que me permite llevar a la realidad el modelo 3D realizando imágenes de mi proyecto tomando como base una descripción de texto. Decido que el proyecto tenga una estética contemporánea donde el protagonismo lo tenga la vegetación (Fig. 18, 19 y 20).



18

Vista del proyecto fachada principal

5

19

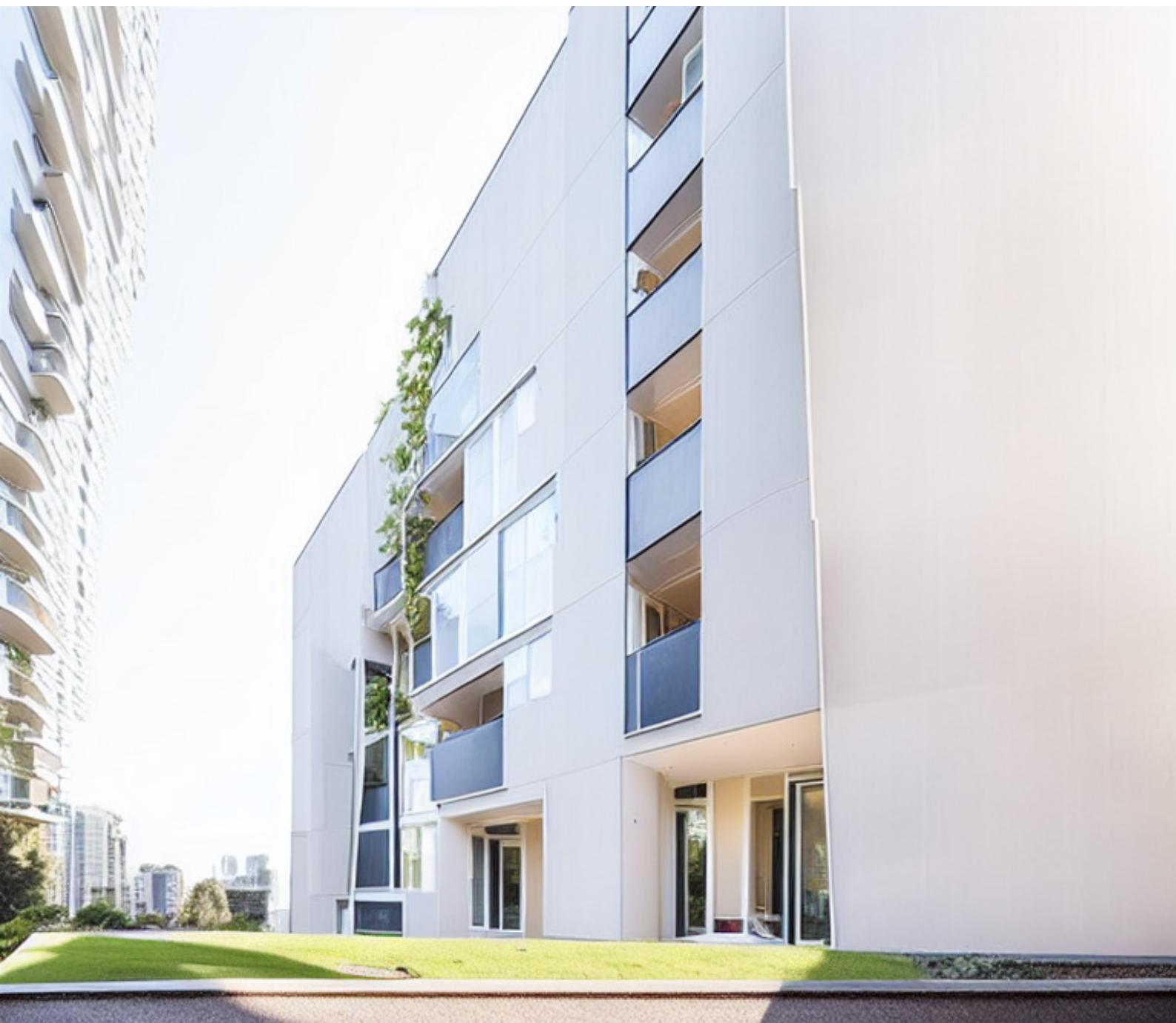
Vista interior salón.



20

Vista del proyecto fachada trasera.

19



20

Conclusión

A la vista de los resultados generados por la IA generativa de ARCHITECTURES y VerasAI podemos concluir que la inteligencia artificial sí puede generar el diseño de un proyecto arquitectónico. Sin embargo, también queda clara la supervisión de un arquitecto durante todo el proceso generativo del mismo. Estas herramientas quedan limitadas en cuanto al número de parámetros que permite y la correcta taxonomía de las palabras utilizadas. “Se puede afirmar que el arquitecto es creativo, para bien o para mal, cuando quiere y la IA cuando no tiene otros recursos. De esta observación podría derivarse la idea de que la IA es más objetiva y, por tanto, más científica en la medida en que cuenta con un modo más regular de operar”¹, sin embargo, resulta evidente que la propuesta del caso práctico podría ser descartable desde criterios formales, urbanísticos o estéticos.

1. Arquitecturas inconclusas: Una perspectiva desde la inteligencia artificial, p12 Artículo de Elena Merino Gómez, Fernando Moral Andrés, Pedro Reviriego Vasallo, Universidad de Valencia, 2023.

2. Gilles Babinet en el artículo “¿Qué se espera en el futuro de la inteligencia artificial?” de Sairah Ashman para Forbes.

Retomando la cita de Gilles Babinet², vicepresidente del Consejo Nacional Digital francés: “Hay dos trabajos para la IA: uno que nos ayude a ser más organizados y productivos automatizando las cosas que contribuyen a la creatividad, pero que no son creativas en sí mismas, y otro que sea más una especie de musa y mago que nos ayude a conjurar ideas inesperadas y viajes aún por imaginar” se exemplifica a la perfección el trabajo que han realizado ambas IAs. ARCHITECTURES ha contribuido a esa productividad automatización generando múltiples variables de edificio en cuestión de “clicks”, mientras que VerasAI a través de su generación de imágenes muestra un sin fin de posibilidades siendo cada una única. Por lo tanto queda claro el papel de IA como “asistente creativo” que libera al arquitecto de los procesos más tediosos y automáticos para hacer volar su creatividad con un sin fin de referencias.



Futuro

En la intersección entre la maestría humana y el ingenio algorítmico yace la promesa de una arquitectura futura que fusiona la herencia creativa con la innovación tecnológica, dando vida a espacios que cautivan la mente y el corazón por igual.

El devenir de la inteligencia artificial en el ámbito arquitectónico augura una trayectoria de profunda influencia y redefinición. En el transcurso de los últimos años, el acelerado avance de la inteligencia artificial ha delineado un nuevo acercamiento a la visión generativa. A medida que esta disciplina continúa evolucionando, las capacidades de la inteligencia artificial se erigen como un recurso promisorio para optimizar procesos, potenciar la creatividad y abordar desafíos complejos en el diseño y desarrollo de entornos construidos. Sin embargo, es imperativo reconocer que si bien la inteligencia artificial ha logrado avances significativos en la automatización de tareas específicas, su integración completa en la esencia de la arquitectura, que se encuentra arraigada en la sensibilidad humana, conlleva desafíos sustanciales.

Actualmente la inteligencia artificial adolece de ciertas limitaciones técnicas y proyectuales. Muestra de ello es la simplificación del ejercicio arquitectónico de las IA generativas a un mero ajuste paramétrico, a diferencia de la verdadera arquitectura que se rige por valores humanos.

La necesidad de un equilibrio entre la innovación tecnológica y la preservación de los valores humanos y culturales en la concepción espacial, se posiciona como un factor crucial en la materialización exitosa de esta simbiosis. Del mismo modo, la continua colaboración entre profesionales de la arquitectura y expertos en inteligencia artificial, sustentada en un diálogo interdisciplinario, constituye la vía hacia un futuro donde la coexistencia armónica entre la maestría artística y la potencia algorítmica sea la piedra angular de una nueva era arquitectónica.

El futuro que depara a la arquitectura es prometedor e inquietante. La inteligencia artificial aunque por el momento se trate de un instrumento más encuadrable en el ámbito de la creatividad artística y la automatización de procesos supone una ventana a ese futuro incierto donde el horizonte destella con infinitas posibilidades. Resulta innegable que la arquitectura se erige en torno a las dinámicas humanas, espacios que inspiren, conforten y se integren en la vida cotidiana, pero hasta el presente en dicho aspecto la inteligencia artificial aún le queda un trecho por recorrer.

Bibliografía



Artificial Intelligence: A general survey, J. Llighill, 1973.

Some Expert Systems Need Common Sense, J. McCarthy, Stanford University, 1984.

The Society of Mind, M. Minsky, Touchstone, 1986.

The Modulor I & II, Le Corbusier, Harvard University Press, 1954.

Towards A New Architecture, Le Corbusier, J. Rodker Publisher, 1931.

The Dymaxion World of Buckminster of Buckminster Fuller, R.W. Marks, S.I. University Press, 1960.

The New Architecture and the Bauhaus, W. Gropius, MIT Press, 1965.

Artificial Intelligence and Architecture. From Research to Practice, Stanislas Chaillou, 2022.

The Age of AI, Henry A Kissinger, Eric Schmidt, Daniel Huttenlocher, 2021.

The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture, Imdat As, Prithwish Basu Routledge, 2021.



What is AI? Basic Questions with John McCarthy by Stanford University

Artificial Intelligence, a discussion with Marvin Minksy, Edge Interview, 2002

The Dartmouth Research Project on Artificial Intelligence, J. McCarthy, M. Minsky, N. Rochester, C.E. Shannon, 1955.

The Advent of Architecture AI + Architecture , Thesis, Stanislas Chaillou, Harvard GSD, 2019.

Semanticism. Towards a Semantic Age for Architecture, SChaillou, Harvard University,

Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning., Articulo de Imdat As, Siddharth Pal and Prithwish Basu, 2018.

Arquitecturas inconclusas: Una perspectiva desde la inteligencia artificial. Artículo de Elena Merino Gómez, Fernando Moral Andrés, Pedro Reviriego Vasallo, Universidad de Valencia, 2023.

"Nuevos cimientos tecnológicos: La inteligencia artificial ya da forma a la casa del mañana. Alicia Aragón. 2023.



Artificial Intelligence, a discussion with Marvin Minsky, Edge Interview, 2002

The Perceptron, The machine That Changed the World, Documentary, 1992.

AI & Creativity: Using Generative Models To Make New Things, D. Eck, Google Brain, 2017.

Archigram's Plug-In City, VDF; Dezeen, 2020.

Le Corbusier's Modulor system, R. Meier's Interview, 2017.

Buckminster Fuller's Dymaxion House, 1940s Futuristic Architecture, 1946.

Gropius & The Dessau Bauhaus, Architecture Collection, ARTE.

AI + Architecture: Towards a New Approach". Guest Lecture by Stanislas Chai llou | GSD-6338. Garciadelcastillo, 2020.

¿El fin del Arquitecto? o un nuevo comienzo? La Inteligencia Artificial en la Arquitectura. ArqInu, 2022.

Plantas de ARQUITECTURA en SEGUNDOS con inteligencia artificial | Architectures Finch 3D PlanFinder. ArqMANES, 2023.

¿Qué significa realmente "Inteligencia Artificial"? Subespacios, pareidolias y creatividad. Jaime Altozano, 2023.

¿Puede la Inteligencia Artificial diseñar mejor que los arquitectos?. Pau M. Just - Deconstruyendo el Cine, 2023.

Compito contra DALLE-2 ¿Me dejará SIN TRABAJO una Inteligencia Artificial?. Julieta Wibel, 2022.

Un NUEVO TIPO de RENDER | Inteligencia artificial en Arquitectura | Concepto | Idea | Veras iA. ArqMANES, 2022.

De CROQUIS a RENDER en un click! iA Midjourney Stable Diffusion Veras Diseño Arquitectura Proyecto. ArqMANES.



Capgemini IA Revolution: Inteligencia Artificial Generativa | La Inteligencia Artificial ha llegado para quedarse. María Lorente, 2023.

<https://forbes.es/empresas/300195/capgemini-ia-revolution-inteligencia-artificial-generativa-la-inteligencia-artificial-ha-llegado-para-quedarse/>

¿Qué se espera en el futuro de la inteligencia artificial?. Entrevista de Sairah Ashman a Gilles Babinet en Forbes, 2023.

<https://forbes.es/tecnologia/258300/que-se-espera-en-el-futuro-de-la-inteligencia-artificial/>

El 47% de los españoles cree que la IA puede afectar a su puesto de trabajo, según una encuesta. Forbes, 2023.

<https://forbes.es/ultima-hora/306135/el-47-de-los-espanoles-cree-que-la-ia-puede-afectar-a-su-puesto-de-trabajo-segun-una-encuesta/>

Romance Scam & Role of Artificial Intelligence (AI). Chargeflow, 2023.

<https://www.chargeflow.io/blog/romance-scam-role-of-artificial-intelligence-ai#:~:text=This%20type%20of%20scam%20involves,people%20looking%20for%20love%20online.>

It's already way beyond what humans can do': will AI wipe out architects?. Oliver Wainwright en TheGuardian, 2023.

<https://www.theguardian.com/artanddesign/2023/aug/07/ai-architects-revolutionising-corbusier-architecture>

La historia de la Inteligencia Artificial, Javier Yanes, 2023.

<https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/inteligencia-artificial/historia-de-la-inteligencia-artificial/>

ChatGPT: qué es, cómo funciona y qué puedes hacer con esta ia. Masmóvil, 2023.

https://blog.masmoviles/chatgpt-que-es-como-funciona-y-que-puedes-hacer-con-esta-ia/?utm_id=PZSDBI2039MM&gclid=Cj0KCQjwoK2mBhDzARlsADGbjeq-t8K6P-z54aWkMuHCiaDLG1wnsXtTeyZxWQB3_XmDh96DBz8KUR0aAr3MEALw_wcB

El diseño generativo representa el futuro de la arquitectura. Artículo de Luzmelia Torres para el economista, 2022.

<https://revistas.eleconomista.es/inmobiliaria/2022/septiembre/el-diseno-generativo-representa-el-futuro-de-la-arquitectura-ID12008202>

Parametric Technology Corporation, de David Weisberg, 2023

https://www.shapr3d.com/history-of-cad/parametric-technology-corporation#_ftnref10

¿Qué es el diseño generativo y cómo puede aprovecharse en la fabricación?.

Artículo de Dan Miles para Redshift, 2022.

<https://redshift.autodesk.es/articles/diseno-generativo>

El diseño generativo en la arquitectura y la construcción abrirá camino a la productividad. Por Phil Bernstein para Redshift 2019.

<https://redshift.autodesk.es/articles/diseno-generativo-arquitectura>

Una plataforma en la nube para edificios eficientes en el plano ecológico. Cordis.

<https://cordis.europa.eu/project/id/854888/es>

AI-Powered Building Design. Página web de ARCHITEChTURES.

<https://architechtures.com/>

¿Qué es ARCHITEChTURES?. Página web de ARCHITEChTURES.

<https://architechtures.com/que-es-architechtures/>

Introducción – Diseño Arquitectónico con IA. Página web de ARCHITEChTURES.

<https://architechtures-test.com/blog-post-architechtures/>

Página web de VerasAI.

<https://www.evolveelab.io/veras>

Imágenes

Portadas (creadas por IA generativa)

Portada principal

- Katharina Brunner

Fuente: <https://github.com/cutterkom/generativeart>

Introducción

- Katharina Brunner

Fuente: <https://github.com/cutterkom/generativeart>

Fundamentos

- Katharina Brunner

Fuente: <https://github.com/cutterkom/generativeart>

Recorrido histórico

- Katharina Brunner

Fuente: <https://github.com/cutterkom/generativeart>

Hasta la llegada de la IA

- Katharina Brunner

Fuente: <https://github.com/cutterkom/generativeart>

Aplicaciones

- Janusz Jurek

Fuente: <https://wwwdsignoes/blog/diseno-grafico/arte-generativo-3d-janusz-jurek>

Caso práctico

- Nicola Lorusso

Fuente: <https://ei-design.org/es/2020/06/21/spatial-matters-arte-generativo/>

Futuro

- Katharina Brunner

Fuente: <https://github.com/cutterkom/generativeart>

Figuras

Fundamentos

1. <https://chat.openai.com/>

Recorrido histórico

1. Artificial Intelligence and Architecture. From Research to Practice, Stanislas Chaillou, 2022.
2. https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bardeen_Shockley_Brattain_1948.JPG
3. <https://news.cornell.edu/stories/2019/09/professors-perceptron-paved-way-ai-60-years-too-soon>
4. <https://www.chilton-computing.org.uk/inf/pngs/smlighthill.png>
5. <https://hub.packtpub.com/nvidia-demos-a-style-based-generative-adversarial-network-that-can-generate-extremely-realistic-images-has-ml-community-enthralled/>
6. Artificial Intelligence and Architecture. From Research to Practice, Stanislas Chaillou, 2022.

Hasta la llegada de la IA

1. Artificial Intelligence and Architecture. From Research to Practice, Stanislas Chaillou, 2022.
2. <https://www.alamy.es/estudio-de-edificios-historicos-americanos-casa-dymaxion-estructura-image354440602.html?imageId=8CE03E82-8316-4970-80AD-A533FA37A737&p=1272039&pn=1&searchId=7a555dd1ddcfb2367771af355684c440&searchType=0>
3. <https://undiaunaarquitecta.wordpress.com/2015/06/06/blanche-lemco-1923/lemco-10/>
4. <https://tecnne.com/biblioteca/archigram-plug-in-city/>
5. <https://www.xataka.com/otros/sketchpad-cumple-50-anos-cuando-sutherland-so-no-con-el-diseno-asistido-por-ordenador>
6. <http://moleskinearquitectonica.blogspot.com/2009/02/gehry-walt-disney-concert-hall.html>
7. <https://lucianoambrosini.medium.com/flexible-design-and-scripting-part-1-2bb39a5bde07>
8. <https://arquitecturaviva.com/obras/centro-heydar-aliyev>
9. <https://eliza-pert.medium.com/1973-a1b835e87d1c>

Aplicaciones

1. <https://architechtures.com/>
1. <https://architechtures.com/>
2. <https://www.evovelab.io/veras>
3. Video de Jaime Altozano en colaboración con DotCOS, ¿Qué significa realmente "Inteligencia Artificial"? Subespacios, pareidolias y creatividad..
4. Guión de la película "her" de Spike Jonze.
5. Video de Jaime Altozano en colaboración con DotCOS, ¿Qué significa realmente "Inteligencia Artificial"? Subespacios, pareidolias y creatividad..

Caso práctico

- 1-3. Google Maps.
4. Elaboración del autor.
- 5-17. Caso práctico sobre la plataforma ARCHITEChTURES.
- 18-20. Caso práctico sobre la plataforma VerasAI.

