

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Estudiante: José Ignacio Kempff Selemé
Tutor: Javier Francisco Raposo Grau
Trabajo Fin de Grado

LA ARQUITECTURA Y SU CONTEXTO GRÁFICO

Procesos de digitalización

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Estudiante: José Ignacio Kempff Seleme

Tutor: Javier Francisco Raposo Grau

Trabajo Fin de Grado

LA ARQUITECTURA Y SU CONTEXTO GRÁFICO

Procesos de digitalización

LA ARQUITECTURA Y SU CONTEXTO GRÁFICO

Procesos de digitalización

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Trabajo de Fin de Grado

José Ignacio Kempff Seleme

Tutor: Javier Francisco Raposo Grau

Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica

Aula 1

Coordinadora: María Mercedes González Redondo

Departamento de Estructuras y Física de Edificación

Adjunto: Esther Moreno Fernández

Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica

Tipografía: URW DIN

“El arte desafía a la tecnología y la tecnología inspira al arte”

Todos los derechos de textos e imágenes pertenecen a sus autores. Éste es un trabajo académico concebido para la finalización del programa del Grado en Fundamentos de la Arquitectura por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM), Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

– John Lasseter

Madrid, enero de 2023

Texto, edición y diseño por José Ignacio Kempff Seleme

© José Ignacio Kempff Seleme, 2023

Resumen

Abstract

Introducción

Motivación

Estado de la cuestión

Objetivo

Metodología

1. El proceso de digitalización

1.1 Diseño asistido por ordenador

1.2 Parametrización

1.3 Inteligencia artificial

2. La educación gráfica en la arquitectura

2.1 Contexto

2.2 El desafío pedagógico

2.3 La enseñanza digital

3. Casos de estudio

3.1 ETSAB - Barcelona, España

3.2 TU München - Múnich, Alemania

3.3 Politecnico di Milano - Milán, Italia

3.4 TU Delft - Delft, Países Bajos

Conclusión

Bibliografía

Anexos

Créditos de las imágenes



Figura 1: "Fluid Strata" por Filippa Dafni, premio en categoría híbrida del concurso de dibujo arquitectónico de ArchDaily.

Resumen

La simbiosis entre arquitectura y computación nunca antes ha sido tan fuerte. Desde los inicios en la segunda mitad del siglo pasado, las herramientas digitales han coadyuvado a la representación gráfica, el análisis y la construcción de la arquitectura, y lo seguirán haciendo. Desde los primeros prototipos de diseño asistido por ordenador en los años sesenta, hasta la conjunción de arquitectura paramétrica con inteligencia artificial en los últimos años, las universidades y la investigación han jugado un rol muy importante.

La digitalización en la educación de la arquitectura es y sigue siendo un proceso controversial. La formación del arquitecto abarca muchas áreas y suele no haber cabida para BIM, diseño paramétrico, u otras salidas profesionales muy requeridas. Algunas universidades punteras en la Unión Europea así lo demuestran.

Palabras claves:

Dibujo; computación; proceso; arquitectura; digitalización; educación

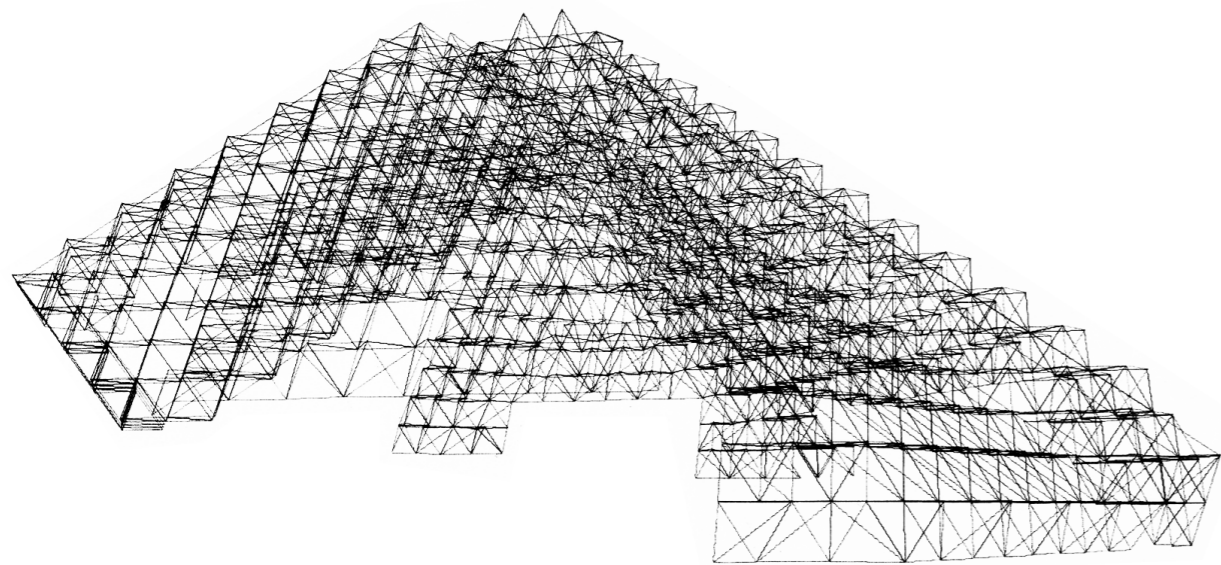


Figura 2: "Reptile flexible enclosure system", por John Frazer, 1970.

Abstract

The symbiosis between architecture and computation has never been so strong. Since its beginnings in the second half of the last century, digital tools have contributed to the graphic representation, analysis and construction of the built environment, and will continue to do so. From the first prototypes of computer-aided design in the sixties, to the conjunction of parametric architecture with artificial intelligence in recent years, universities and research have played a very important role.

The digitization of architectural education is and remains a controversial process. The architect's education reaches many areas and there is often no room in the curriculum for BIM, parametric design, or other professional skills that are currently highly required. Some leading universities in the European Union demonstrate this.

Key words:

Drawing; computation; process; architecture; digitalization; education

Introducción

Motivación

El interés por este trabajo comenzó durante un intercambio en Múnich, dónde tuve la oportunidad de asistir a una exposición titulada *"Die Architekturmaschine"* en el *Architekturmuseum* de la TUM. La exposición repasaba históricamente la informática aplicada a la arquitectura. En este sentido, hacía eco de la revolución industrial del siglo XIX y la revolución digital como uno de los giros más importantes del mundo puesto que ha afectado a prácticamente todas las profesiones, entre ellas la arquitectura.

La investigación que se plantea repasa históricamente los factores que coadyuvaron a que el arquitecto sea un profesional con conocimiento en herramientas digitales como en técnicas artísticas tradicionales, y analiza cómo los contextos educativos influyen en esta divulgación de conocimiento. Difundir cómo, por qué surgieron y cómo nos afectan estas tecnologías analizando los aspectos más relevantes que nos llevaron a depender de un ordenador, nos permitirá comprender hacia dónde vamos.

A raíz de mi intercambio y de conversaciones con amigos de otras partes de Europa, pude notar patrones que muchas escuelas tenían en común al momento de enseñar arquitectura. Por este motivo, quise centrar la investigación analizando cuatro escuelas de arquitectura en la Unión Europea a modo de saber cómo se enfrentan sus estudiantes a las herramientas digitales durante la formación de grado.

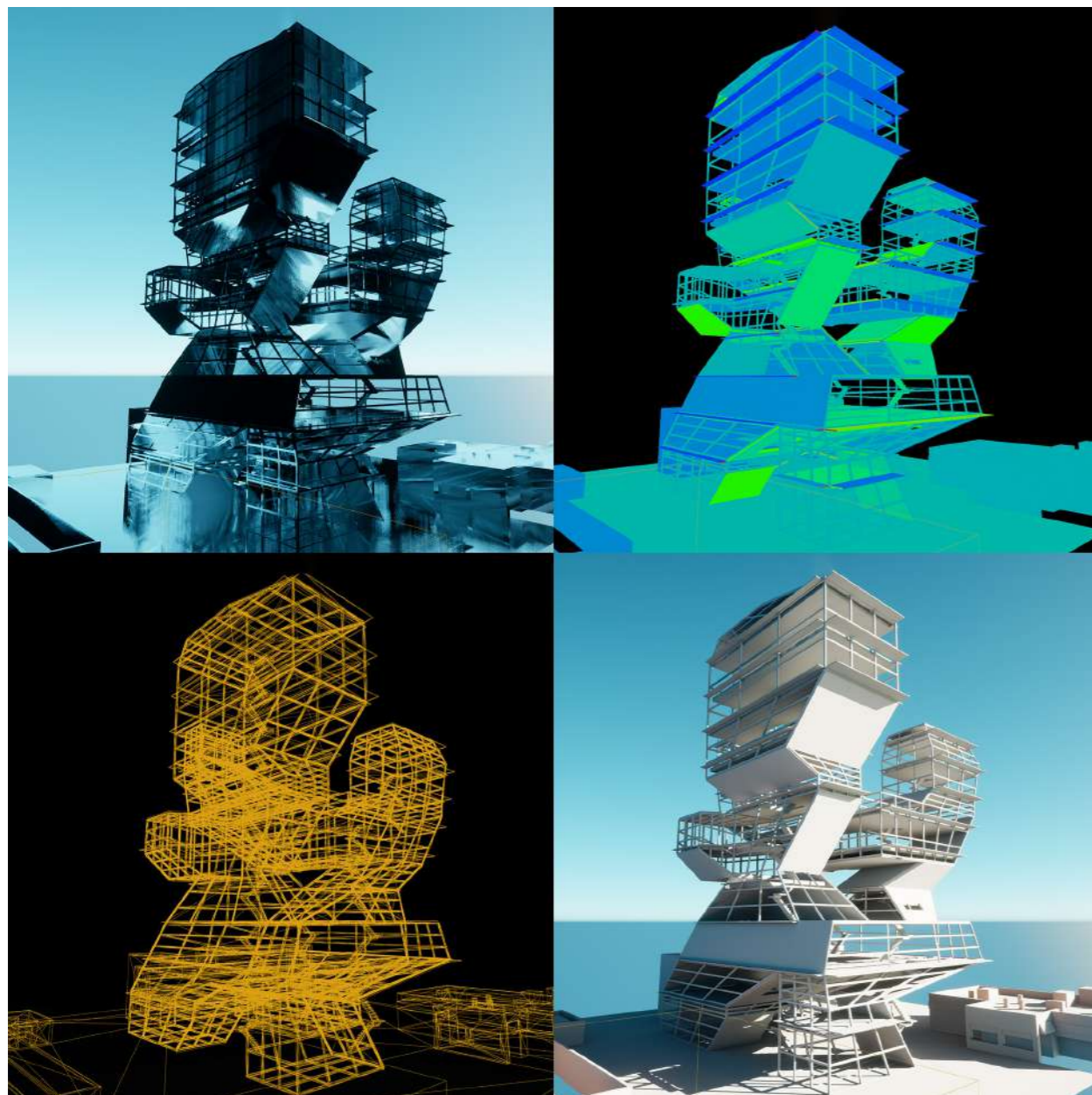


Figura 3: Trabajos infográficos del proceso arquitectónico con medios digitales por Miautics.



Estado de la cuestión

Durante la exploración histórica enfocada en la digitalización arquitectónica fue necesario delimitar temas relevantes para su estudio, admitiendo aquello cercano a la era digital y sus procesos, así como acontecimientos recientes; sin embargo, se resalta que parte de la bibliografía utilizada en este trabajo fue publicada desde la segunda mitad del siglo pasado, y no sólo la de las últimas décadas. Cabe destacar que la bibliografía del siglo XX es muy limitada, ya sea porque el asunto era muy novedoso, incierto o difícil de comprender.

Se han utilizado fuentes desde la década de 1960, entre ellos *"Sketchpad: A man-machine graphical communication system"*, de Ivan Sutherland, que marca un inicio fundamental en el área de investigación. En 1970, Nicholas Negroponte, introduciendo el término "máquina arquitectónica" en su libro *"The Architecture Machine. Toward a More Human Environment"*, muestra un interés marcado en la computación y el rol del arquitecto en el medio a intervenir. Negroponte escribirá en 1993 *"Being Digital"*, donde investiga cómo los ordenadores podrían cambiar el diseño arquitectónico en las próximas décadas.

Entrado el siglo XXI, los avances tecnológicos han llevado a un mayor interés de herramientas digitales tanto en la práctica de la arquitectura como también en temas de su investigación. Mario Carpo, con sus libros *"The alphabet and the algorithm"* (2011)

Figura 4: Collage de portadas de ejemplares bibliográficos, elaboración propia.

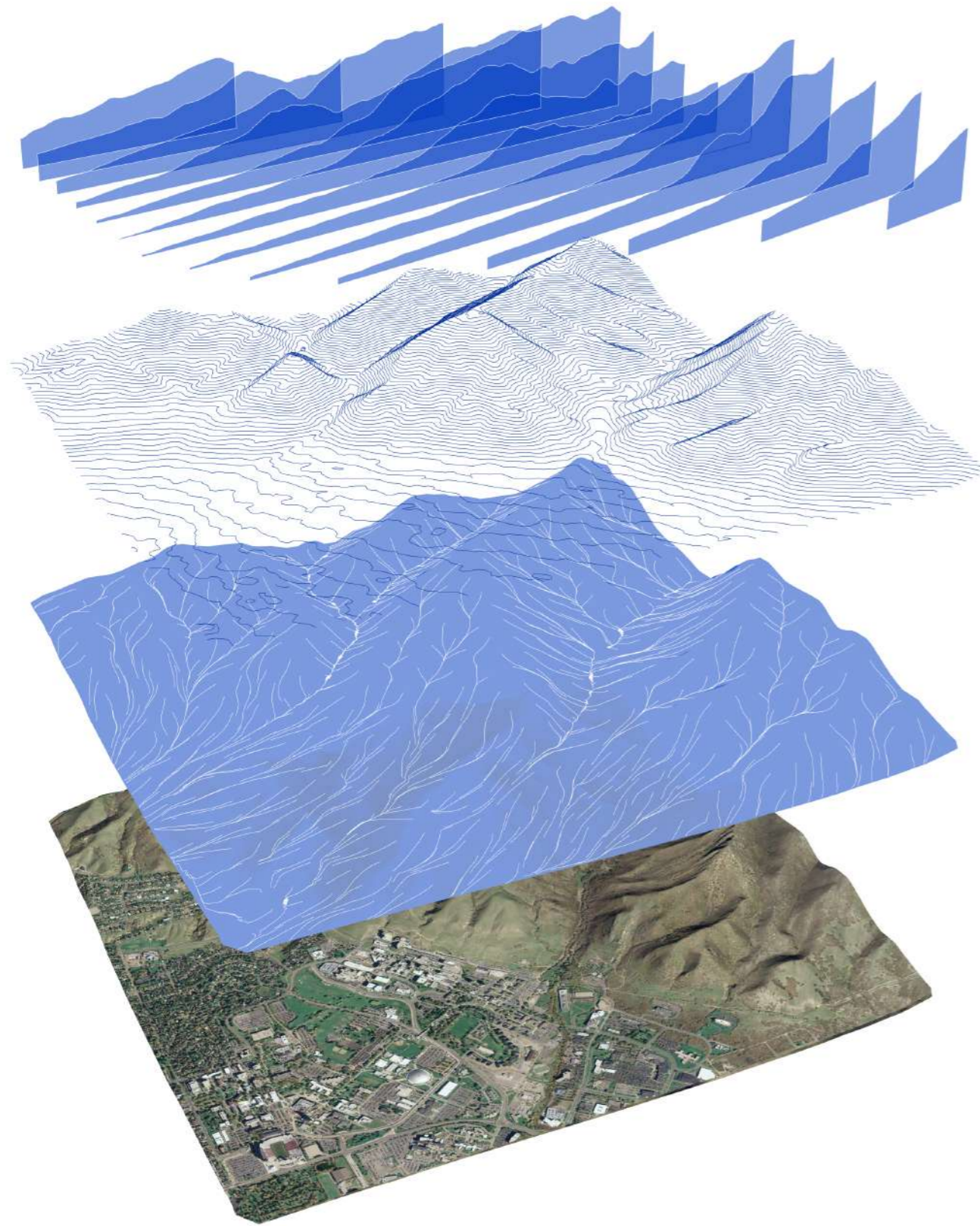


Figura 5: Entendimiento del terreno con combinación de tecnologías GIS y diseño paramétrico por Miautics.

y *"The second digital turn. Design beyond intelligence"* (2017) recorre el camino que han tenido ciertas cuestiones infográficas aplicadas a la arquitectura, explicando cómo han cambiado radicalmente en los últimos años.

De esta manera, Molly Wright Steenson, en su texto *"Architectural Intelligence: How Designers and Architects Created the Digital Landscape"* (2017), trae figuras como referentes del siglo pasado, dándoles importancia relevante para el desarrollo de digitalización que afectó a nuestra profesión.

Ya en la segunda década del siglo XXI, en el catálogo de la exposición *"Die Architekturmaschine. Die Rolle des Computers in der Architektur"* (2020), Teresa Fankhänel y Andrés Lepik reúnen hechos históricos y casos particulares remarcando cómo, hoy en día, la informática y la arquitectura están tan relacionadas. La profesora y arquitecta Thedora Vardouili edita con Olga Touloumi ese mismo año *"Computer Architectures. Constructing the Common Ground"*, donde se dibuja el escenario que trajo la computación en la imaginación, producción y gestión del entorno. En 2022, Stanislas Chaillou escribe *"Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice"* y provee de un triple lente entre la historia, la aplicación y la teoría. Este libro, raíz de su tesis doctoral en la Harvard GSD, va a ser fundamental para entender los procesos de digitalización.



Figura 6: Simulaciones estructurales con diseño paramétrico por Miautics.

Objetivos

Los objetivos de este trabajo son analizar el proceso de digitalización vinculado a la formación y profesión del arquitecto, investigar sobre la enseñanza digital en las escuelas de arquitectura y el desafío pedagógico que esto implicó. Desde los inicios de esta simbiosis arquitectura-máquina, en palabras del propio Negroponte (1970), con la introducción e implementación del diseño asistido por ordenador, hasta las últimas novedades como la inteligencia artificial, se hace un barrido que analiza el impacto de estas nuevas tecnologías en la arquitectura y los resultados que ha tenido en las escuelas.

Las vertientes de la computación aplicada a la arquitectura son extensas. Por esto, se plantea una divulgación de metodologías digitales innovadoras que han marcado un antes y un después en nuestra formación y profesión. Se terminará el trabajo con casos de estudio analizando las diferentes implantaciones de la digitalización en el contexto académico europeo y el mismo proceso de digitalización que tomó lugar en cuatro escuelas de arquitectura en las que divergen los procedimientos vinculados al aprendizaje del dibujo, la relación con los softwares y el abordaje de un proyecto arquitectónico.

La intención es entender qué ganó la computación al abordar problemas arquitectónicos, así como lo que ganó la arquitectura al ser influenciada por la computación.

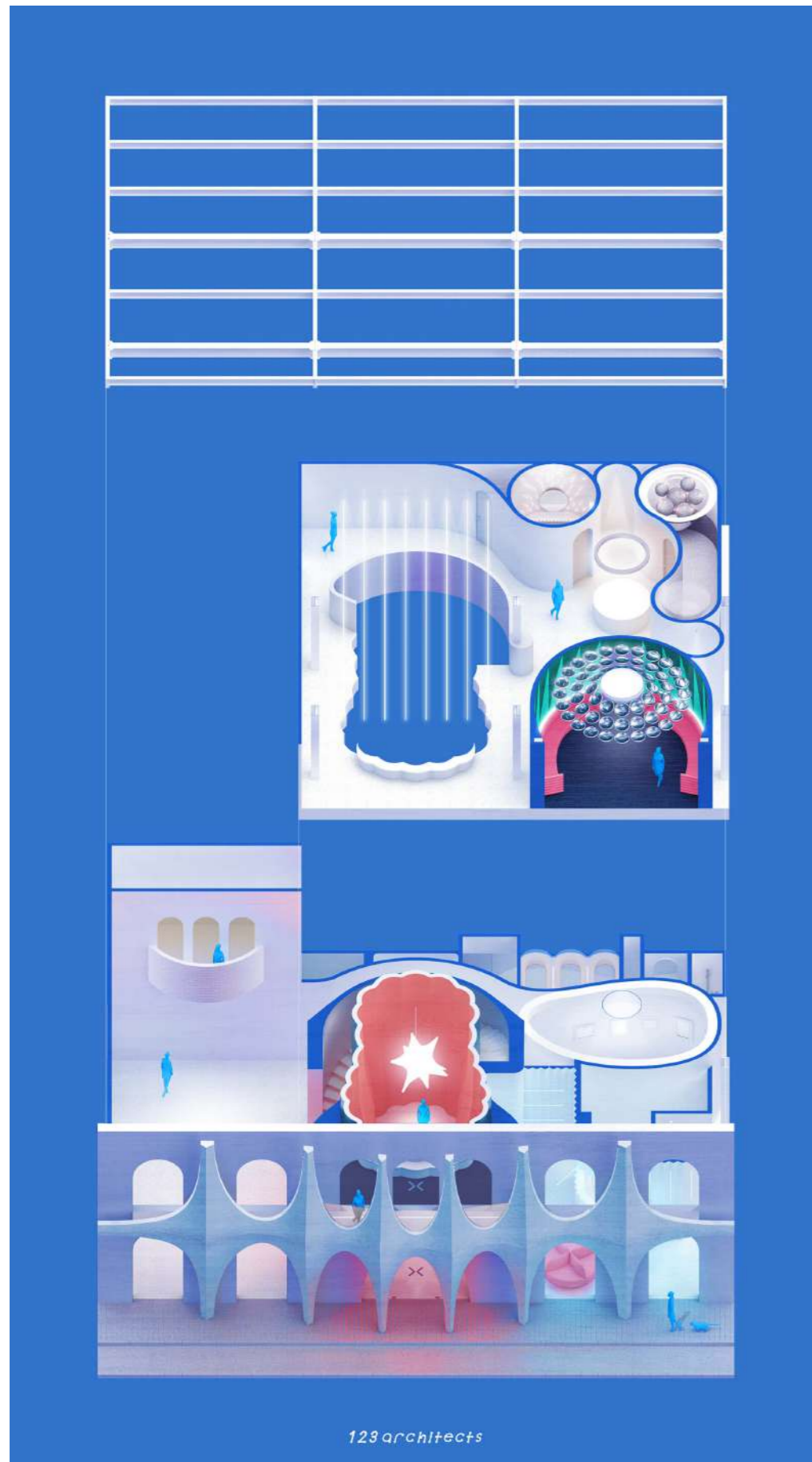


Figura 7: Pruebas con vectores discretos con Grasshopper por Miautics.

Metodología

Para la elaboración de este trabajo se recopiló diversos tipos de fuentes y recursos tanto del siglo pasado como del presente. La primera parte nos introduce a la intención inicial para luego revisar bases históricas y enfocar el concepto de digitalización y sus cambios a lo largo de los años, desde el diseño asistido por ordenador hasta la inteligencia artificial, haciendo un barrido cronológico. Desde lo convencional, con libros, tesis o artículos especializados hasta lo particular, con catálogos de exposiciones y memorias de conferencias, se consiguió información suficiente para una investigación y un análisis de estos procesos.

La investigación sigue con el contexto educativo, estudiando a diversos autores, y analiza el desafío pedagógico que ha tenido la formación del arquitecto y cómo se llevó a cabo la enseñanza digital en universidades claves, recalando sus tropiezos y la facilidad con que se logra su implementación. Un estudio de casos enfoca la investigación en el contexto europeo, donde se revisan planes de estudios y se entrevista a estudiantes de cuatro universidades o escuelas de arquitectura dentro de la Unión Europea que se destacan por su calidad educativa.



Estructura del Trabajo

El presente trabajo aborda una investigación histórica sobre los antecedentes del proceso de digitalización en la arquitectura, una exposición del impacto de este proceso en el ámbito académico, y un análisis de casos de estudios particulares.

En el primer capítulo se abarcaron dichos antecedentes dentro de tres apartados que separan las innovaciones en el contexto gráfico de la arquitectura. La línea de investigación retrae estos avances del matrimonio computación y arquitectura en tres periodos que dividen este camino. Estos se marcan desde el inicio de la informática gráfica con el diseño asistido por ordenador desde la década de los sesenta. Fue en los años 2000, donde la parametrización adquirió un papel fundamental con la llegada del BIM o con Rhinoceros. Las bases de datos, la entidad constructiva o el diseño paramétrico alcanzaron un papel fundamental en la profesión. De esta manera, se sigue con los acontecimientos más recientes, a partir de la segunda década del siglo XXI, cuando la inteligencia artificial juega un papel fundamental y tiene un claro potencial en la arquitectura.

El segundo capítulo analiza cómo estos avances tecnológicos se divulgaron en el contexto académico, cambiando la formación del arquitecto. Esto se plantea con la finalidad de estudiar el desafío pedagógico que implicó este proceso de digitalización y entender la enseñanza digital que se oferta en las distintas universidades.

Figura 8: Dibujo del estudio fotográfico Masquerade, por 123 Architects.

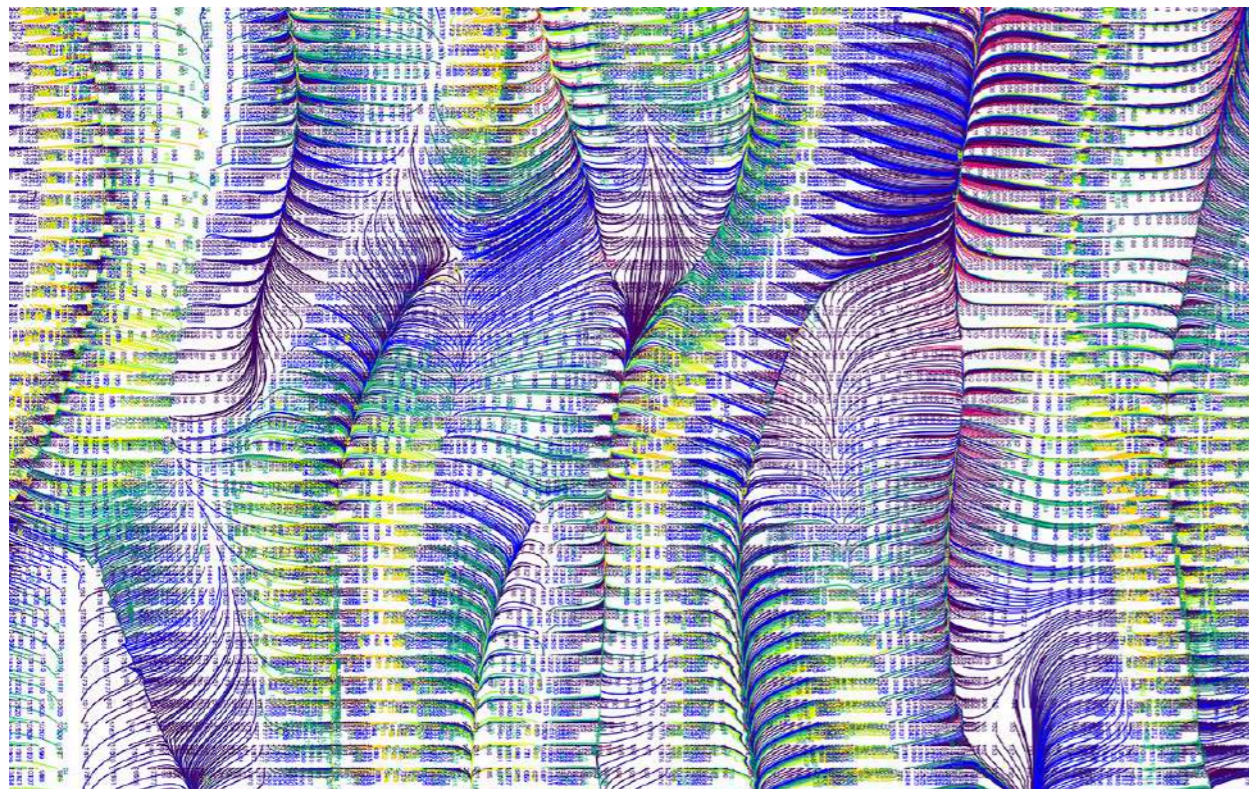
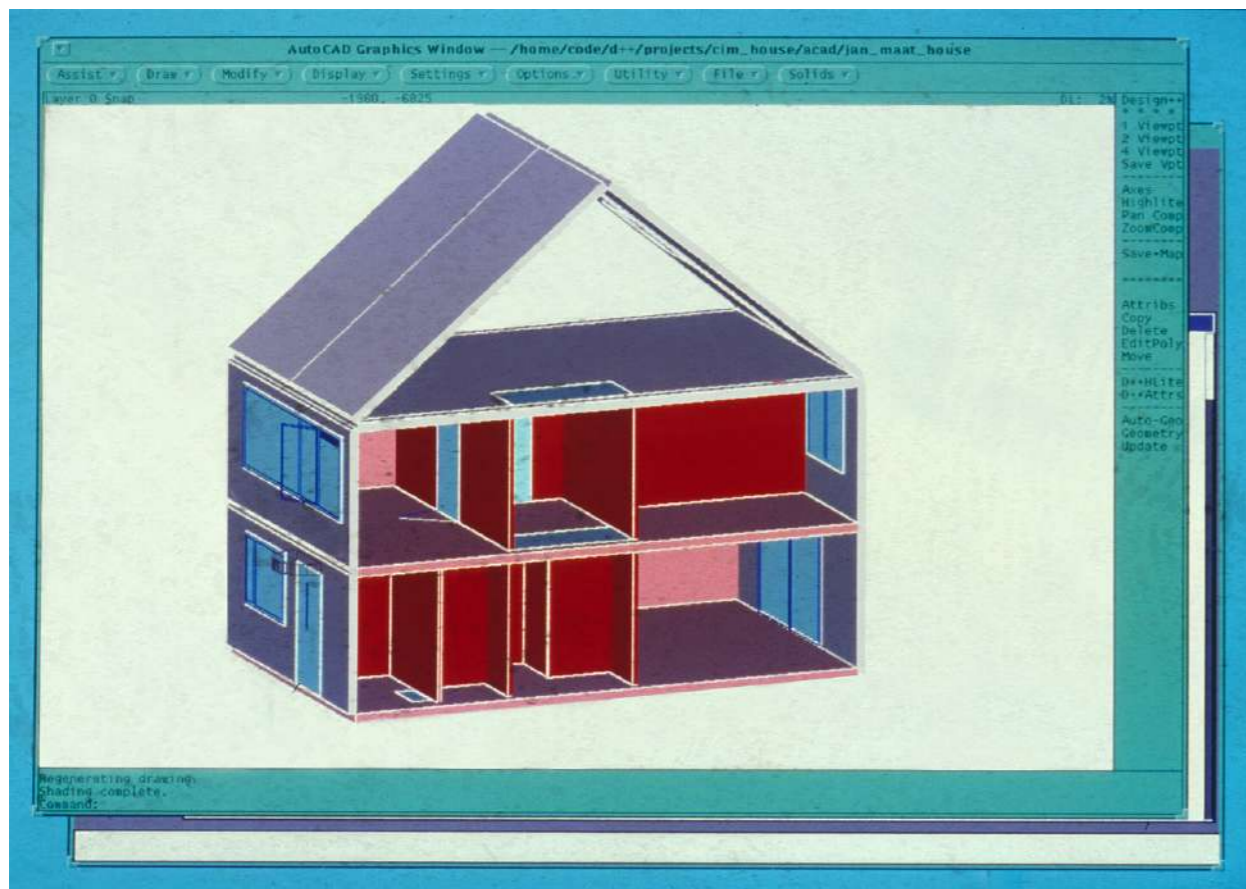


Figura 9: Indeterminate Set 003, por Dana Cupkova.

Posteriormente se planteó un estudio de casos relacionados con la educación y el proceso de digitalización en cuatro escuelas de arquitectura. Para ello se escogieron la ETSAB, la TUM, el Politécnico de Milán, y la TU Delft. Luego de un análisis general y de los planes de estudio de cada grado en arquitectura, se enfoca el tercer capítulo con cuatro entrevistas a estudiantes de estas universidades.

Se finaliza el trabajo con una reflexión y aportes pertinentes al área de investigación, haciendo de éste una producción relevante por el constante cambio que sufren las metodologías de representación gráfica y la gestión de proyectos en nuestra profesión. La conclusión de este trabajo es, por lo tanto, una mirada hacia atrás y un análisis del presente que vivimos.



1. El proceso de digitalización

1.1 Diseño asistido por ordenador

A principios de la década de 1980, el potencial informático y la disponibilidad de nuevos hardwares desencadenó la llegada de múltiples programas de softwares de diseño relevantes para el proyecto arquitectónico. El diseño asistido por ordenador (CAD) tendría un impacto significativo en la práctica de la arquitectura.

En realidad, las reflexiones sobre el potencial de CAD comenzaron a mediados de la década de 1950 dentro de algunas firmas de ingeniería. En 1959, el informático y empresario estadounidense Patrick Hanratty lanzó PRONTO (Carlson, 2005), el primer prototipo CAD, desarrollado para diseñar piezas de ingeniería. Las posibilidades que ofrecía este software marcaron el inicio de importantes esfuerzos de investigación sobre el tema. (Chaillou, 2022)

Poco después, en 1963, el informático estadounidense Ivan Sutherland creó SketchPad (Sutherland, 1964), uno de los primeros programas CAD realmente accesibles, ergonómicos y sencillos. Trabajando en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), Sutherland diseñó un software que no solo permitía el dibujo preciso de elementos técnicos en dos dimensiones, sino que también ofrecía una interfaz optimizada e intuitiva para los diseñadores. Con el uso de un lápiz y controles extremadamente simplificados, SketchPad les dio a los dibujantes un nivel de comodidad y flexibilidad sin precedentes.

Figura 10: Interfaz de AutoCAD de la colección de diapositivas de la TUM, por Richard Junge.



Figura 11: Pierre Bézier.



¹ Bézier, P. (1971), "Example of an existing system in the motor industry: the Unisurf system", Londres: Royal Society

Figura 12: Ivan Sutherland y Sketchpad, 1963.

Del dibujo 2D al modelado 3D, CAD dio un salto adelante en Francia, gracias al trabajo del matemático e informático Pierre Bézier. El trabajo de Bézier sobre curvaturas permite a los dibujantes dibujar formas 3D cada vez más desafiantes usando computadoras complejas (Bézier, 1977). Lanzado en 1966, el software UNISURF¹ de Bezier fue utilizado por el fabricante de automóviles Renault para modelar prototipos. Según Chaillou, este salto repentino no se limitó a la industria automotriz, y tuvo gran influencia en el software de diseño en muchos otros campos.

Gracias a Sutherland, Hanratty, Bézier y muchos otros, CAD se convirtió cada vez más en un nuevo campo de investigación por derecho propio. Al mismo tiempo, CAD se estaba implementando masivamente en la industria, y la arquitectura no fue una excepción. En esencia, esta generación de software permitió la creación y edición formas geométricas simples, su agregación y clasificación utilizando conceptos como bloques, grupos y capas, para finalmente generar los resultados en varios formatos, digitales o impresos. Además de su evidente contribución a la hora de acelerar las tareas de dibujo, los programas CAD impusieron una estructura específica que abarcaba todo el proceso de diseño. Los dibujos se organizaron sistemáticamente en capas, los bloques permitieron una cierta replicabilidad de grupos de formas similares a módulos y las geometrías se etiquetaron con propiedades coherentes.

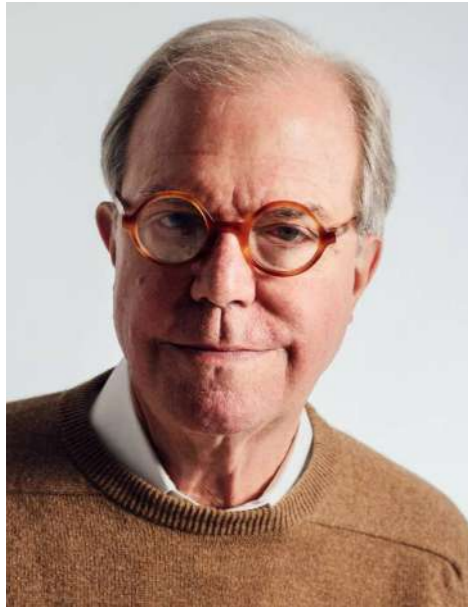
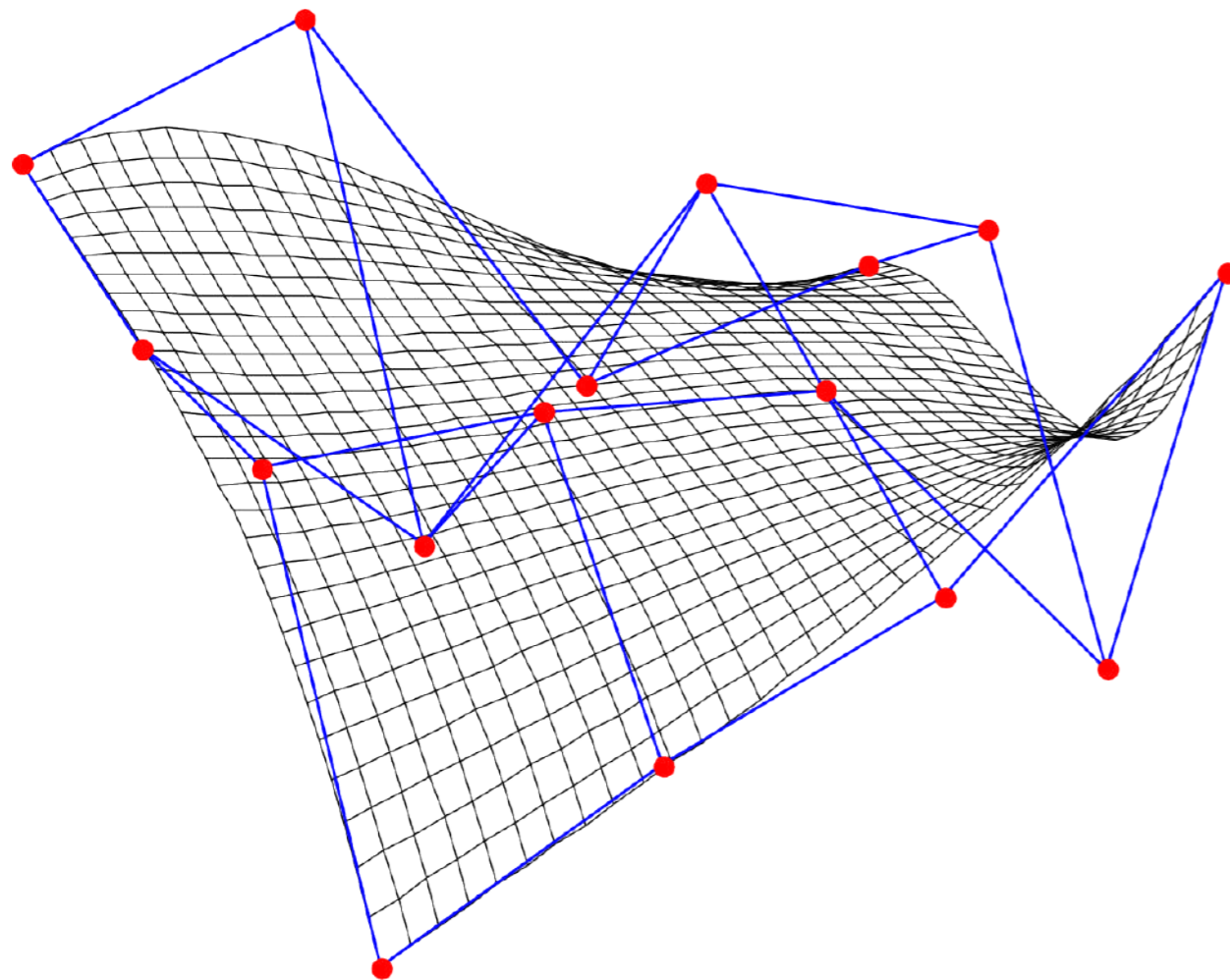


Figura 13: Nicholas Negroponte.



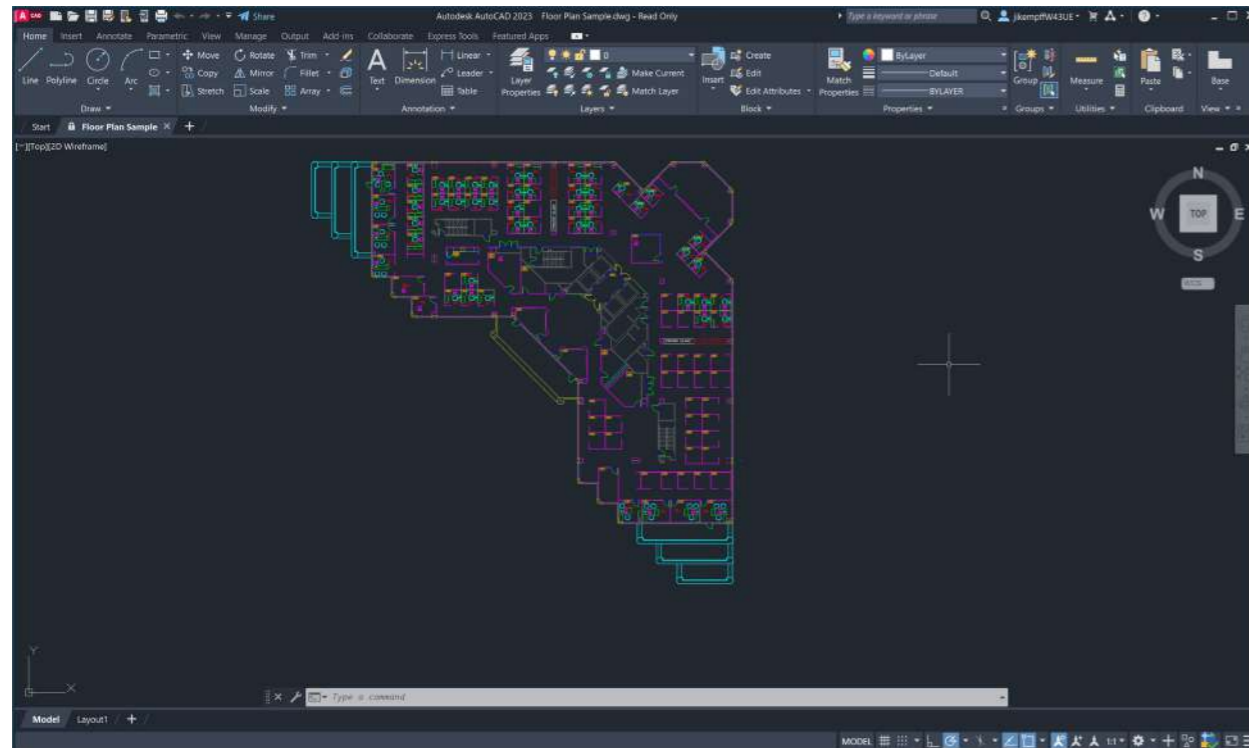
² Nicholas Negroponte: Profesor y científico informático greco-estadounidense, fundador del MIT Media Lab.

Figura 14: Superficie de Pierre Bézier.

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 Negroponte², es quizás uno de los ejemplos más significativos de este período (Wright Steenson, 2017). El libro de Negroponte, "The architecture machine" (1970), investiga cómo las computadoras podrían mejorar el diseño arquitectónico en las próximas décadas.

A partir de ahora, los arquitectos se apoyan en el CAD en sus diversas formas y, a veces, incluso las innovan ellos mismos. En este sentido, la iniciativa del arquitecto estadounidense-canadiense Frank Gehry allanaría el camino para las siguientes décadas. Para Gehry, el uso de ordenadores aplicados al diseño arquitectónico debería relajar considerablemente los límites de los sistemas de montaje y permitir nuevas formas y geometrías en sus diseños (Chaillou, 2022). En 1989, el empresario Jim Glymph se asoció con Gehry para iniciar el uso del principal software de diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM) de Dassault Systemes, CATIA, para resolver la extrema complejidad geométrica de algunos de sus proyectos (Narayanan, 2006).

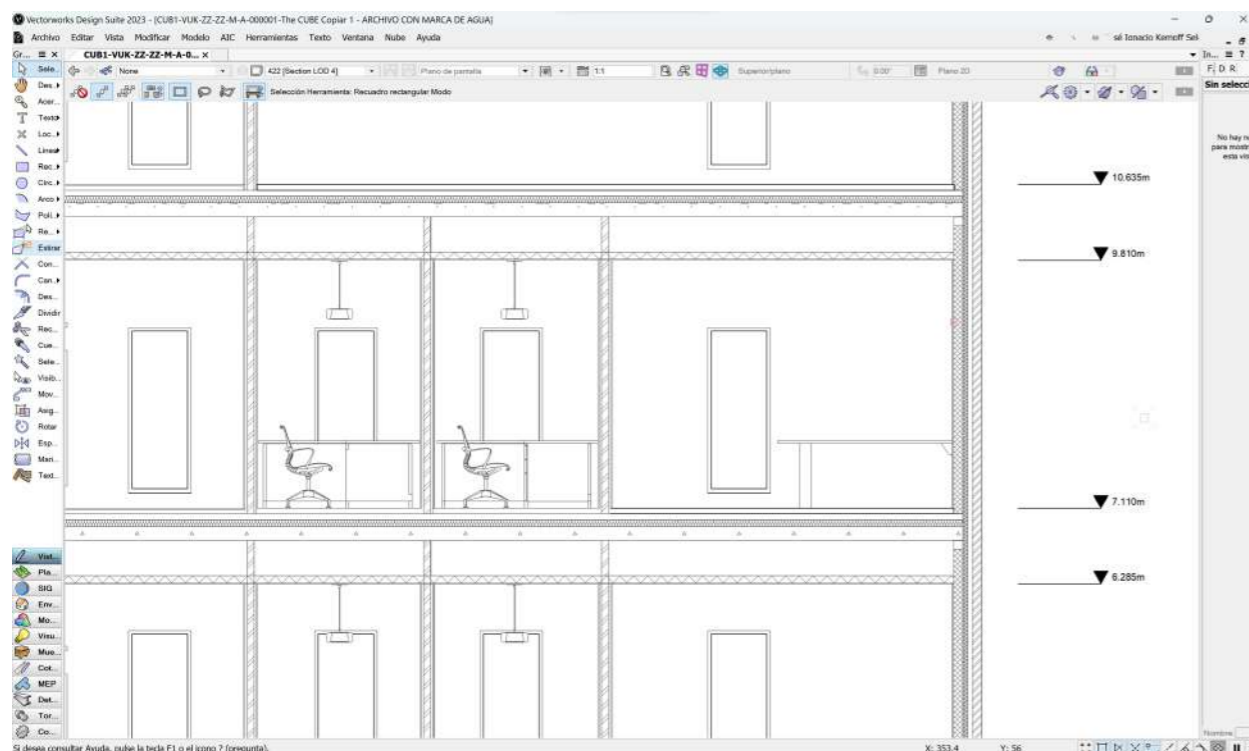
Entre la década de 1980 y 2010, el crecimiento de las capacidades informáticas y de almacenamiento de datos, combinado con su drástica reducción de costos, facilitó el desarrollo y la adopción de



software CAD, como CATIA (1981), AutoCAD (1982), Vectorworks (1985). (Fankhänel y Lepik ed., 2020, p. 228-229). Los arquitectos adoptaron ampliamente este nuevo método de diseño y, hoy en día, conjugan muchos sistemas que se han ido desarrollando posteriormente. La arquitectura comenzó a "ser digital" cuando Nicholas Negroponte así lo declaró en 1995³.

La formación también ha sufrido este cambio. Si bien no fue instantáneo ni simultáneo en todas las universidades, el CAD está presente en el día a día de todos los estudiantes de arquitectura. El BIM o el diseño paramétrico funcionan como habilidades, muchas veces extracurriculares, dentro de las capacidades de cada estudiante.

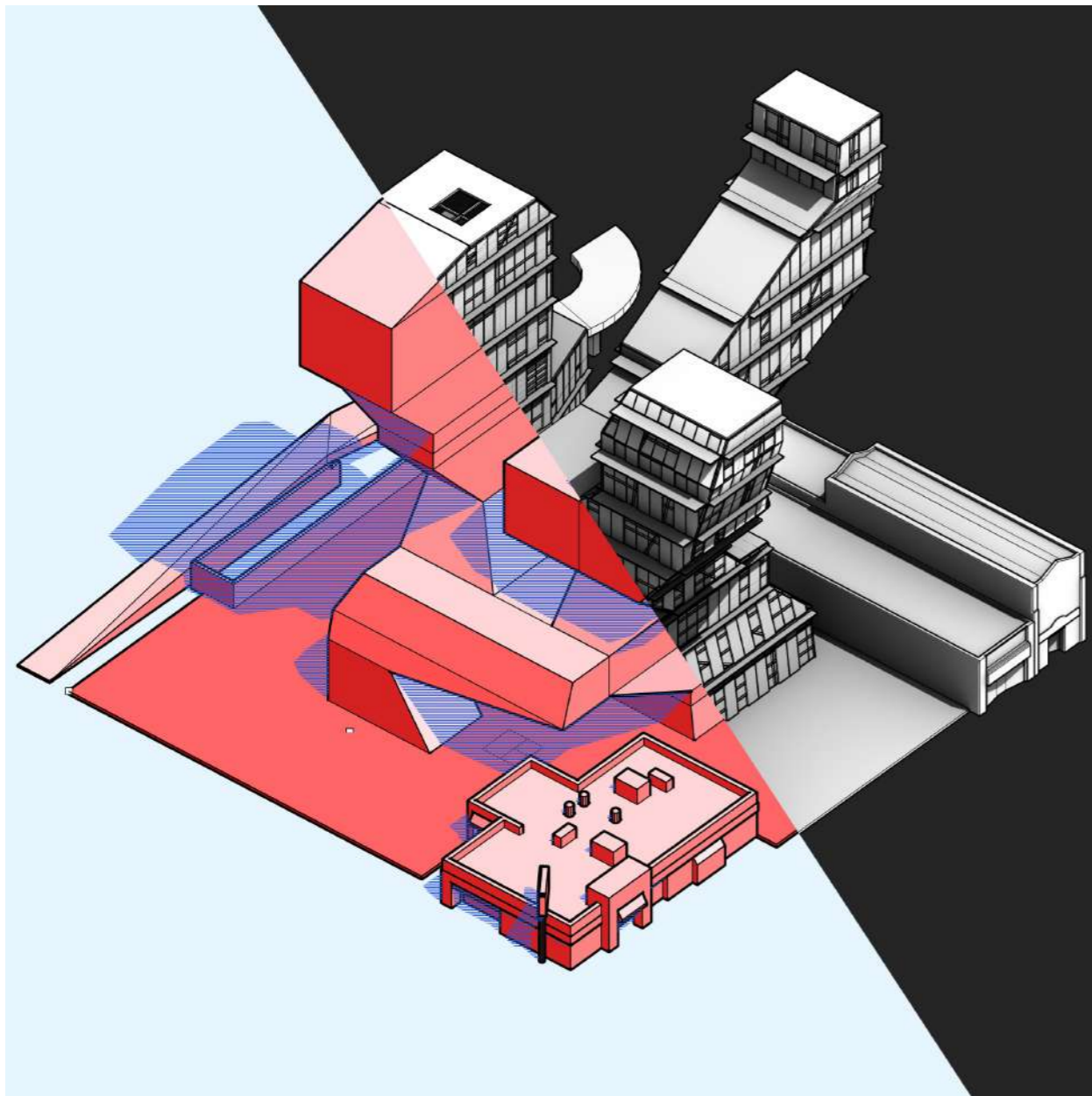
En la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM), como referencia más cercana, la educación digital comienza en el primer cuatrimestre con la asignatura de Geometría y Dibujo de Arquitectura I. En ella, los estudiantes desarrollan conocimientos de dibujo técnico e inteligencia espacial utilizando programas como AutoCAD o Rhino en función CAD.



³ Negroponte N. (1995), "Being Digital", New York, NY: Knopf

Figura 15: Interfaz de AutoCAD 2023, elaboración propia.

Figura 16: Interfaz de Vectorworks 2023, elaboración propia.

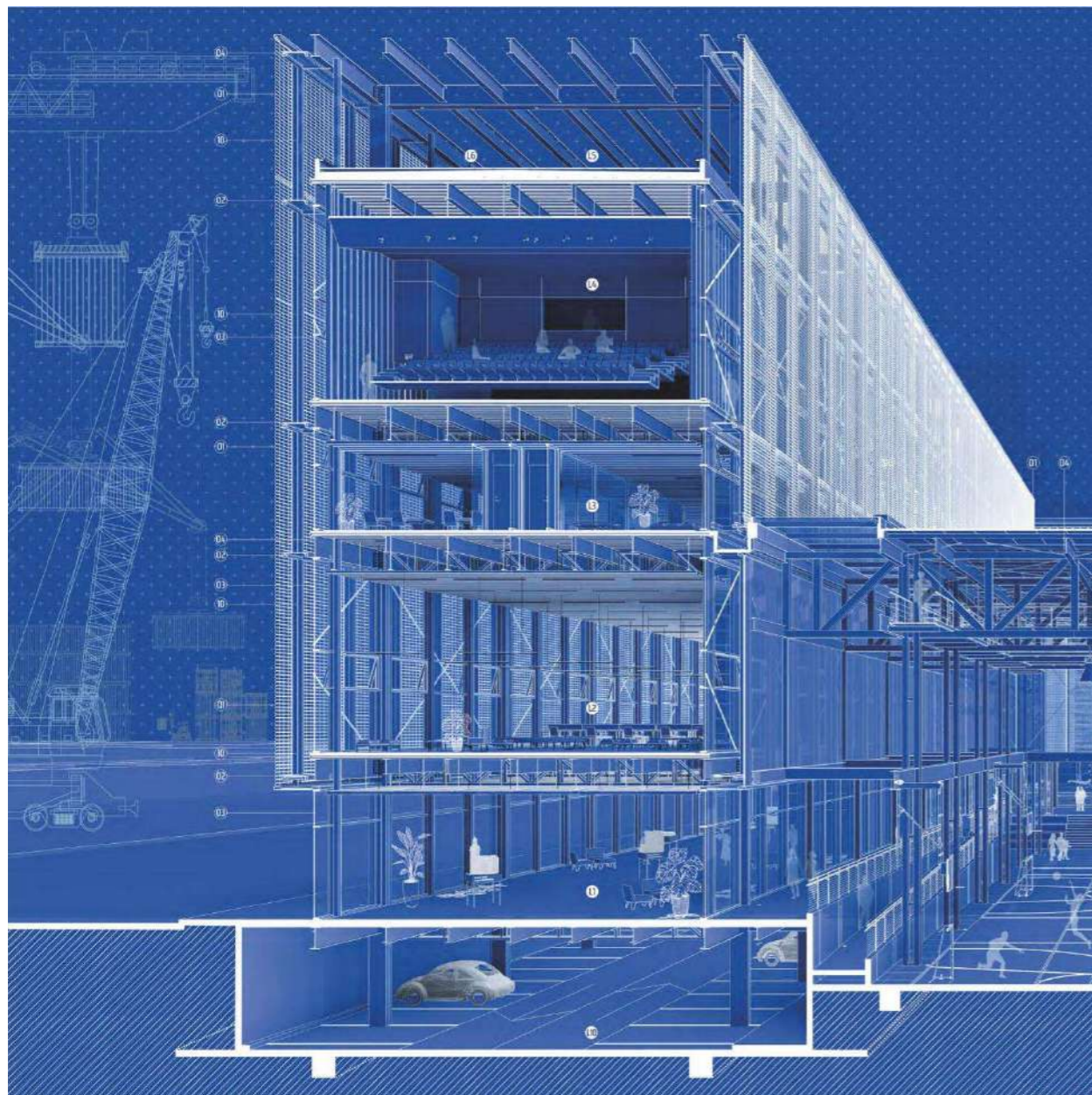


1.2 Parametrización

Con modelado paramétrico, Stanislas Chaillou se refiere a una metodología de diseño que se integraría gradualmente en el software de arquitectura convencional (Rhino, Revit, etc.). Además de la manipulación de bocetos utilizando herramientas de edición geométrica estándar del CAD, esta metodología permite a los diseñadores especificar reglas explícitas como una nueva alternativa de diseñar. En realidad, el uso de dichas reglas es muy anterior a la llegada de las herramientas paramétricas a la arquitectura, ya sea por los primeros trabajos de ciertos arquitectos o por experimentos realizados dentro de softwares específicos durante la segunda mitad del siglo XX (Wright Steenson, 2017)

En la década de 1960, el arquitecto italiano Luigi Moretti había anunciado la aparición de la arquitectura paramétrica y su proyecto, el Estadio N, constituyó una demostración temprana de este potencial. (Moretti, 1968). Moretti formuló un procedimiento preciso, como un conjunto de ecuaciones matemáticas, directamente responsable de la forma final de la estructura, donde la inteligencia artificial definiría diecinueve parámetros. Cada variación de este conjunto de parámetros podría generar una nueva forma para el estadio. El diseño resultante de Moretti no solo ofreció una prueba de concepto convincente en ese momento, sino que también anticipó la próxima estética del modelado paramétrico (Chaillou, 2022).

Figura 17: Modelado en Rhino con Grasshopper por Miautics.



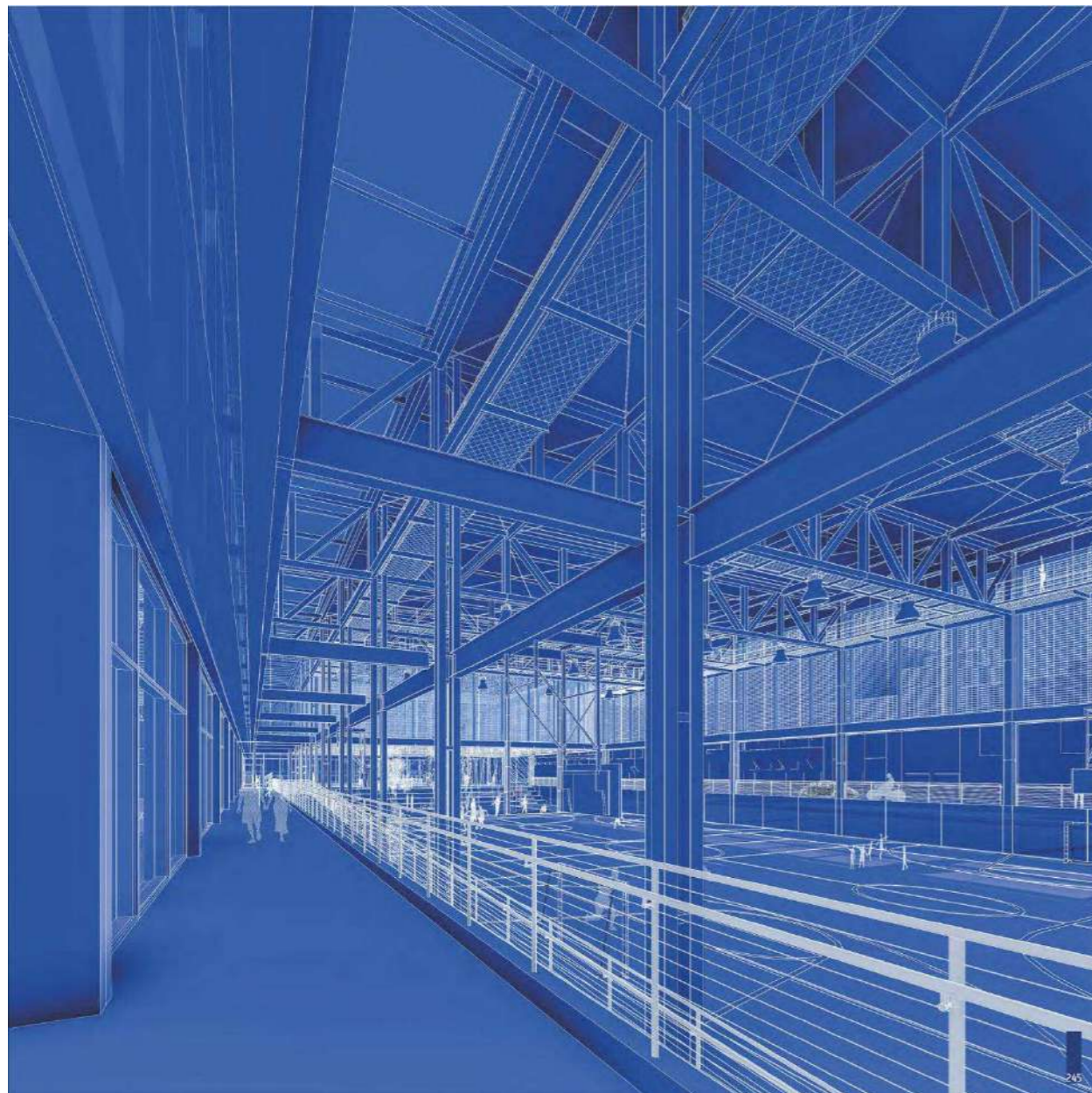
Mientras tanto, el desarrollo de software de diseño experimental facilitará los primeros experimentos sobre el mismo tema. Además de su interfaz CAD, el SketchPad de Ivan Sutherland, mencionado anteriormente, ya formuló ciertas características paramétricas. (Sutherland, 1964). En el corazón de esta herramienta, la noción de "restricción atómica"⁴ representaba una traducción de la idea de parámetro de Moretti. (Chaillou, 2022). Para cualquier boceto realizado en SketchPad, cada geometría se traduciría para la máquina en un conjunto de restricciones atómicas o, en otras palabras, variables accesibles para el usuario. El diseñador no solo podría modificar estos parámetros, sino que también se podría cambiar el conjunto subyacente de relaciones, dando al usuario final la capacidad de establecer tanto las reglas de diseño como sus diferentes entradas. En retrospectiva, SketchPad apareció como un precursor de la mayoría de las herramientas de diseño paramétrico inventadas más tarde en toda la industria.

En 1988, Samuel Geisberg, fundador de Parametric Technology Corporation, lanzó Pro/ENGINEER, el primer programa de software que brinda a los usuarios acceso completo a parámetros geométricos. Cuando se lanzó el software, Geisberg resumió perfectamente el ideal paramétrico:

"El objetivo es crear un sistema que sea lo suficientemente flexible como para alentar al ingeniero a considerar fácilmente

⁴ Sutherland, I. (1964), "Sketchpad: A man-machine graphical communication system", *Simulation*, 2(5)

Figura 18: Centro Comunitario Ciudad Vieja, por Gustavo A. Fuentes (@gaf_arquitectura)



una variedad de diseños. Y el costo de los cambios de diseño debe ser lo más cercano a cero como sea posible."⁵

Está claro que a Geisberg le preocupaba la capacidad de racionalizar formas en normas estrictas, para admitir exploraciones de diseño rápidas y confiables. Esta misma característica explicaría el éxito y la difusión del modelado paramétrico en la industria durante las siguientes décadas. (Chaillou, 2022). Estos primeros experimentos demostraron a la disciplina la relación potencial entre el diseño arquitectónico y su parametrización. Desde 2011, se han modificado algunas características de la última versión oficial de Pro/ENGINEER cambiando su nombre a Creo Elements/Pro. Creo resulta ser un sistema CAD/CAE/CAM cuya ventaja principal es ser completamente asociativo (Iñiguez, 2012) puesto que los cambios que se realizan se reflejan automáticamente en los documentos subsecuentes.

Siguiendo los pasos de Sutherland y Geisberg, una nueva generación de arquitectos "paramétricos" finalmente podría florecer. Entre muchos esfuerzos para digerir las implicaciones del modelado paramétrico en el entorno construido, Patrik Schumacher, un arquitecto alemán y colaborador de Zaha Hadid Architects (ZHA), intentó proporcionar una teoría desatada mediante un manifiesto publicado en AD Architectural Design -

⁵ Teresko J. (1993), Industry Week

Figura 19: Centro Comunitario Ciudad Vieja, por Gustavo A. Fuentes (@gaf_arquitectura)



Figura 22: Patrik Schumacher.

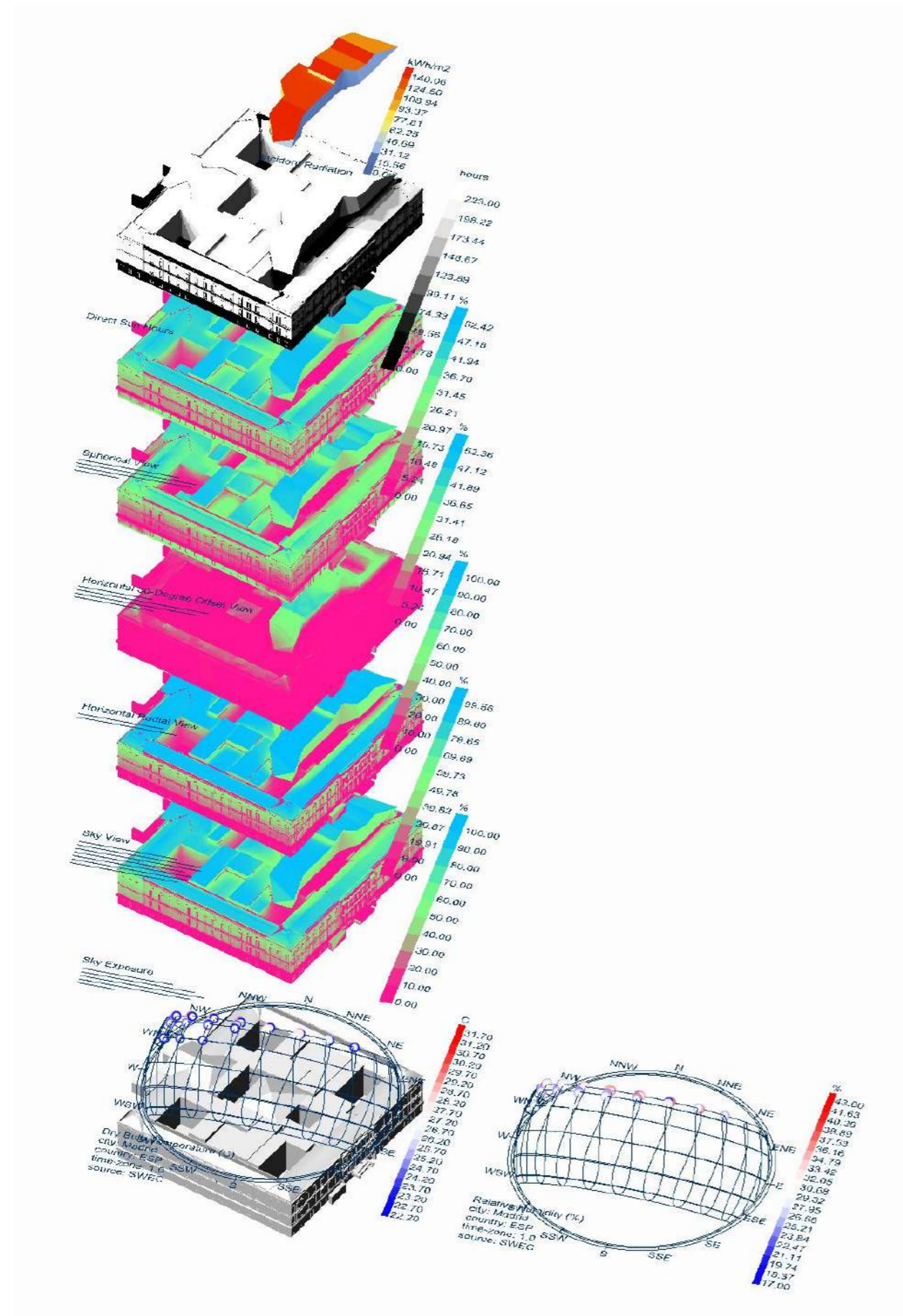


Figura 23: Masterplan de Kartal-Pendik por Zaha Hadid Architects, Estambul, 2006.

clave impulsaron el diseño resultante. La distinta organicidad del trabajo de Hadid se debió en parte a esta metodología de codificación. La apariencia orgánica de sus proyectos es ejemplo de su propio estilo como, más en general, del parametricismo.

De hecho, la adopción del modelado paramétrico se aceleraría a medida que despegara el desarrollo de las plataformas de programación visual. Detrás del trabajo de ZHA, por ejemplo, Grasshopper, un programa desarrollado por el informático David Rutten en la década de 2000, permitió significativamente el proceso de diseño de Hadid. Mediante el uso de una interfaz similar a un gráfico simple, Grasshopper permite la codificación de reglas de diseño. En el software, los objetos geométricos, las funciones y sus parámetros asociados se entrelazan en procedimientos secuenciales. Gracias a esta herramienta, los arquitectos obtienen un acceso simplificado a la lógica de programación, sin la complicación de aprender ningún lenguaje de programación específico ni involucrarse en codificar. Hoy en día, la sencillez de la interfaz, combinado con la relevancia de sus múltiples características y componentes integrados, permite que Grasshopper sea una herramienta esencial para toda una generación de diseñadores.

Evidentemente, Grasshopper se basó en las intuiciones de Sutherland y Geisberg, mientras abría aún más la puerta trasera



del software de diseño (Rutten, 2010). Usando Grasshopper, el proceso de diseño podría alcanzar efectivamente un nivel completamente nuevo de sistematización. Según Chaillou (2022), ahora podría concebirse de manera más programática, ya que los diseñadores invierten parte de su tiempo de diseño en la formulación de las reglas subyacentes de la arquitectura, su replicabilidad y aplicabilidad a escala. A medida que las interfaces de programación visual se extendieron rápidamente por la industria, la predisposición de nuevos arquitectos y un cambio de mentalidad acompañaron a su implementación.

Más allá de Grasshopper y sus contribuciones a la profesión, otra revolución, iniciada a principios de la década de 2000, se implementaría oportunamente para aprovechar el concepto de parámetro: el BIM (Autodesk, 2002). La intención del BIM es documentar y gestionar la gran cantidad de información vinculada a las formas de construcción (tipo de material, cantidades, especificaciones, etc.). Al mismo tiempo, dentro de cualquier software BIM, como Revit o ArchiCAD, los arquitectos pueden manipular objetos en lugar de simples geometrías que quedaron algo primitivas. Además de sus respectivas formas, los objetos tienen su propio conjunto de propiedades y comportamientos en relación con otros objetos. Mientras que los dibujos CAD son representaciones del edificio, los modelos BIM aspiran a ofrecer réplicas digitales reales de los edificios y sus respectivos sistemas.

Figura 24: Elaboración propia de simulaciones bioclimáticas con Grasshopper.

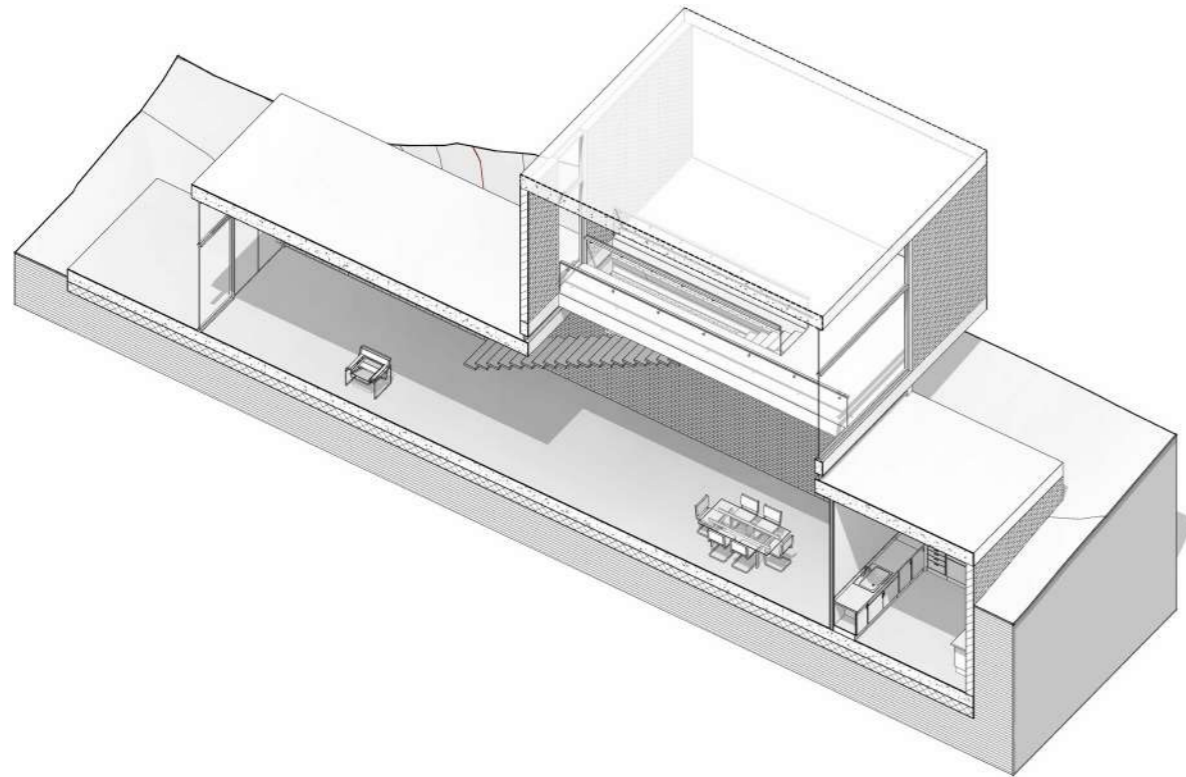


Figura 25: Modelado con Autodesk Revit, elaboración propia.

Es en esta complejidad donde se comienza a hablar de los gemelos digitales, simulaciones, entre otros. Este enriquecimiento semántico se basa en gran medida en la gestión de parámetros y en la existencia de reglas subyacentes para cada elemento, cada familia de objetos, etc. Desde Revit hasta SketchPad, estas prácticas en su diversidad siguieron un hilo común: el uso explícito de parámetros como controladores de diseño (Chaillou, 2022).

Sin embargo, Stanislas Chaillou opina que, desde la década anterior la parametrización o diseño arquitectónico parecen haber ido perdiendo fuerza, tanto técnica como conceptualmente. Varios factores contribuyen a esta situación. En primer lugar, con estas técnicas, las preocupaciones sobre la eficiencia estricta suelen prevalecer sobre el imperativo de la organización del espacio, el estilo y otras consideraciones implícitas vitales para la disciplina. De esta manera, la arquitectura requiere la exploración de amplios espacios de diseño y, desafortunadamente, el modelado paramétrico no logra capturar esta realidad (Chaillou, 2022).

Aunque es un progreso con respecto a las metodologías anteriores, la variedad de opciones de diseño generadas puede ser demasiado limitada. Desde mi experiencia personal, encontrar el equilibrio correcto entre los parámetros puede llegar a ser complejo y computacionalmente costoso. Esta complejidad y costo en tiempo a menudo anula el propósito inicial del diseño

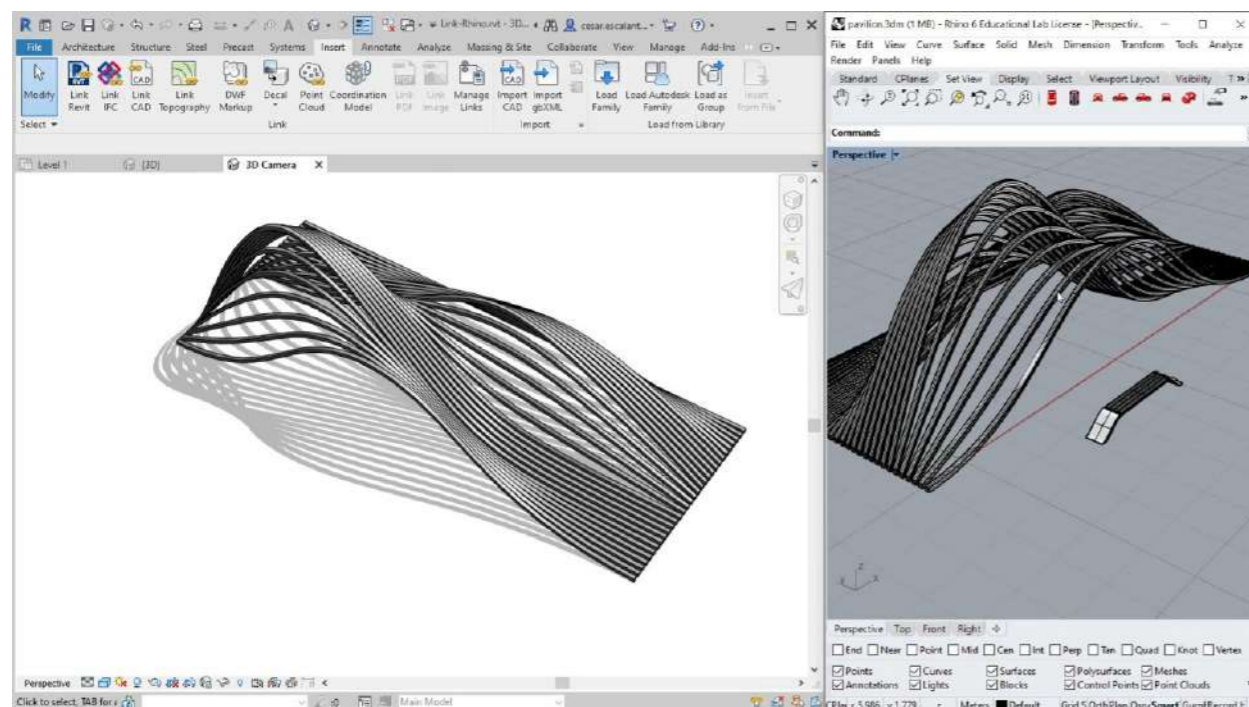


Figura 26: Interoperabilidad entre Rhinoceros y Revit.

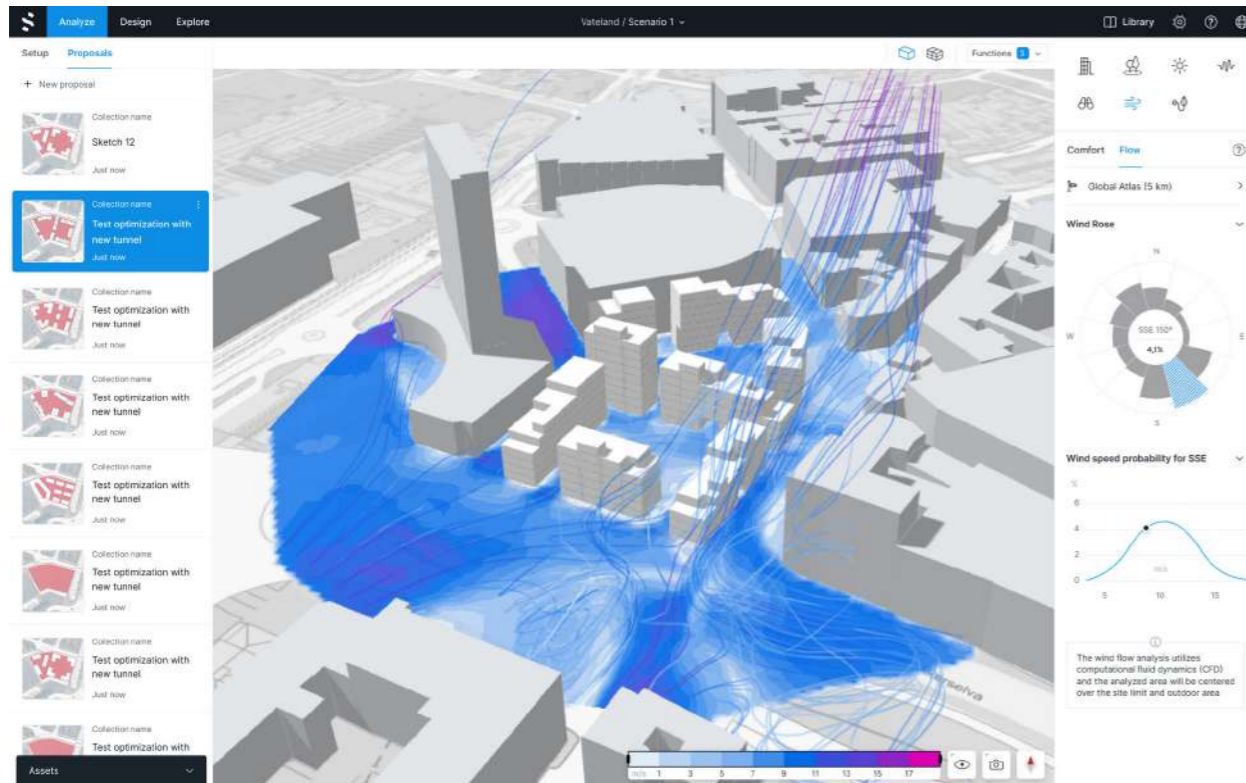


Figura 27: Interfaz de Spacemaker por Autodesk, Inc.

paramétrico. Independientemente de estas insuficiencias técnicas, el modelado paramétrico se basa en una premisa teórica cuestionada por algunos: las propiedades importantes de un edificio podrían describirse utilizando un conjunto fijo de parámetros explícitos, codificados directamente mediante reglas de diseño rígidas. En realidad, ciertas preocupaciones arquitectónicas esenciales no pueden formularse de manera clara, poniendo el modelado paramétrico en desacuerdo con ciertos aspectos clave de la arquitectura. De hecho, autores como Mario Carpo (2017) entiende que la arquitectura digital ha dado un giro importantísimo ya que ahora se están aceptando nuevas herramientas digitales que no tienen la finalidad de hacer, sino que son herramientas para pensar.

La inteligencia artificial ya está lista para superar ciertas limitaciones del modelado paramétrico. Su encuentro con la arquitectura es, según Chaillou, un punto de inflexión decisivo, para el que los últimos sesenta años se ha ido preparando gradualmente.

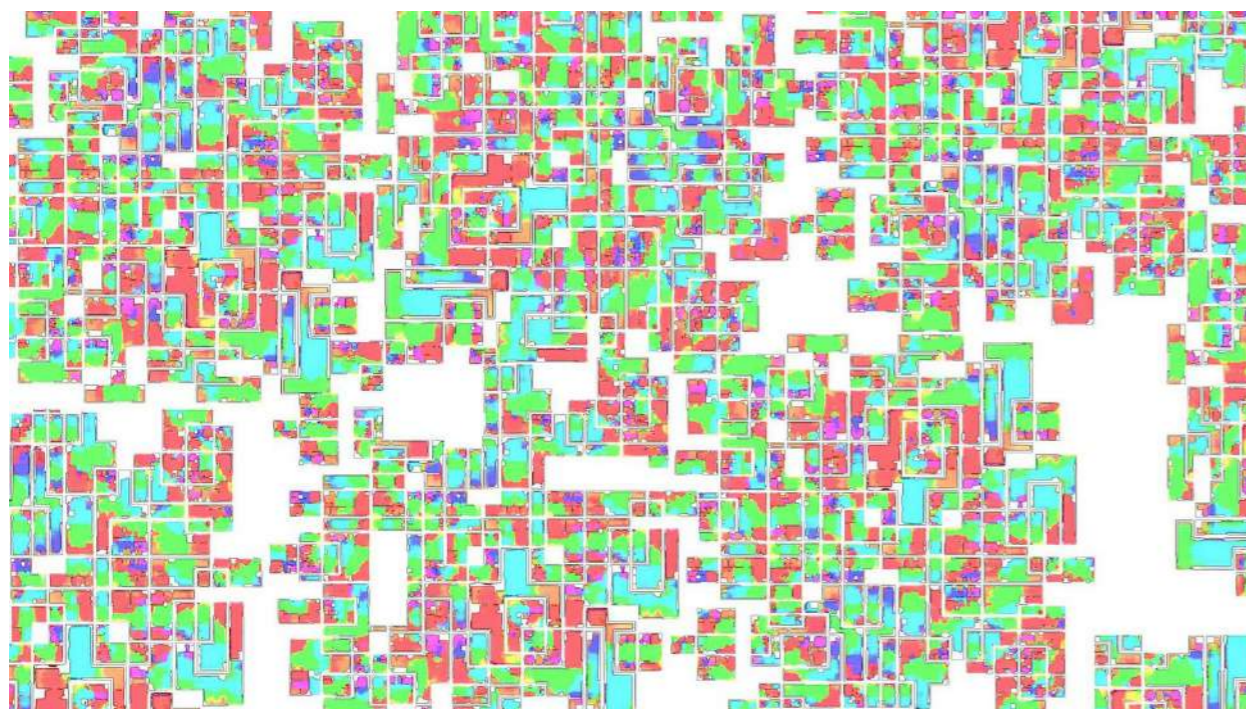
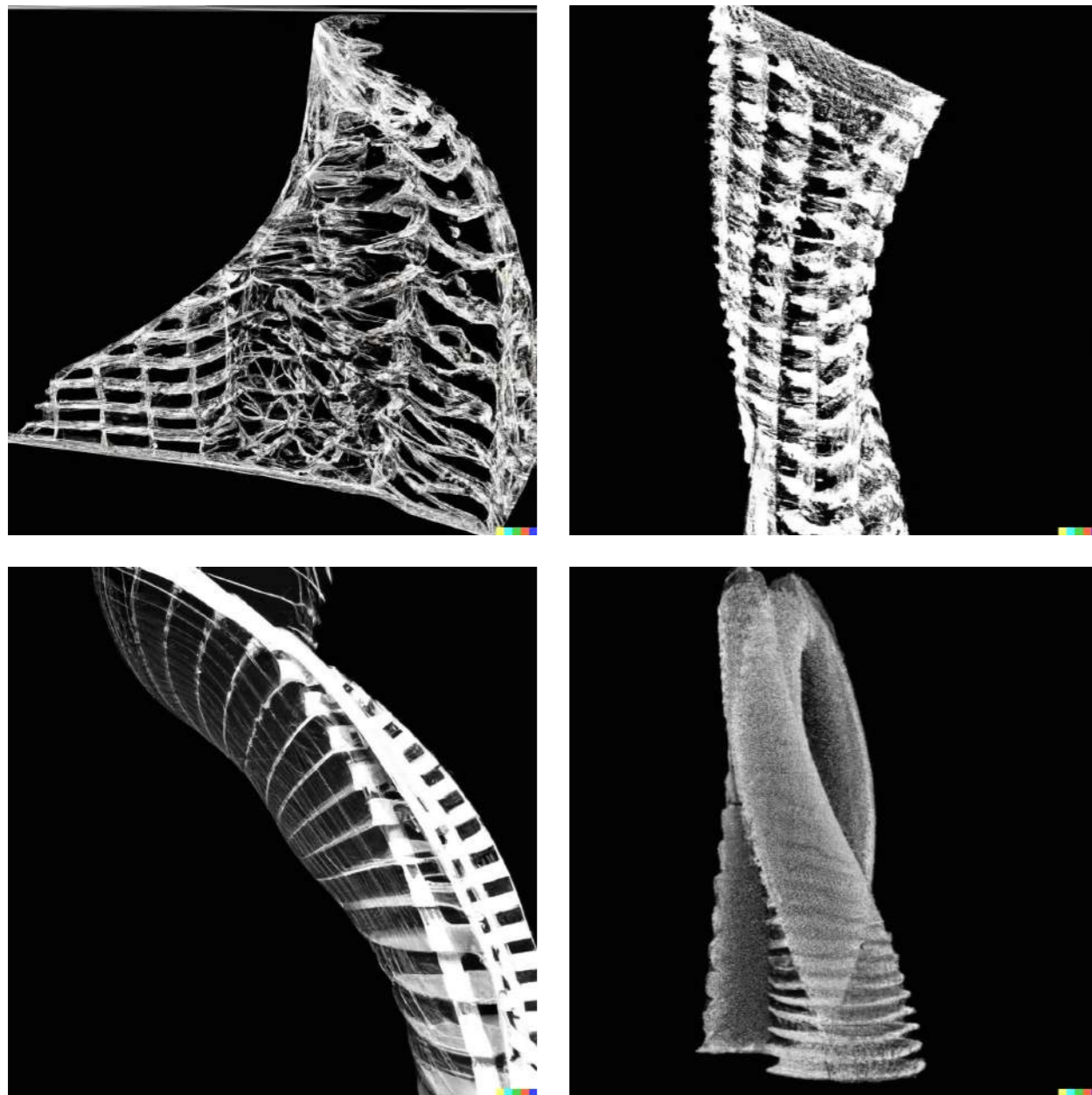


Figura 28: Ilustración para la conferencia "AI & Architecture: Towards a New Approach" por Stanislas Chaillou en la EPFL.



1.3 Inteligencia Artificial

La relevancia de la inteligencia artificial (IA) para la arquitectura fue anticipada inicialmente por algunos teóricos, quienes previeron su potencial desde el principio. Estos precursores iniciarían una discusión dentro de la disciplina sobre varios aspectos de las futuras contribuciones de la IA. Un pantallazo de ciertos hechos históricos puede ayudar a comprender mejor la dirección que se está desarrollando actualmente.

Nicholas Negroponte iba a iniciar la reflexión. Su trabajo en la década de 1970 se centró específicamente en la noción de interacción con máquinas "inteligentes". Dentro del Architecture Machine Grupo del MIT Media Lab, los programas Urban 2 y 5 se diseñaron para ayudar a los arquitectos a dibujar planos adaptando los diseños de espacios optimizando intermediaciones y condiciones de iluminación, mientras se hacían restricciones modulares. Además de proporcionar una expresión temprana de CAD, Urban 5 investigó la noción misma de complementariedad entre el diseñador y un "agente inteligente" (Negroponte, 1970). En este sentido, el software aprovechó la interacción entre dos capas distintas de información: la máquina manejaba una serie de reglas implícitas, mientras que el usuario se encargaba de especificar los parámetros explícitos. El reparto de tareas de Urban 5 tradujo la simbiosis entre el ser humano y la máquina, tan deseada por Negroponte. Con este proyecto, Negroponte planteaba un nuevo

Figura 29: Elaboración propia de imágenes con inteligencia artificial usando DALL-E.

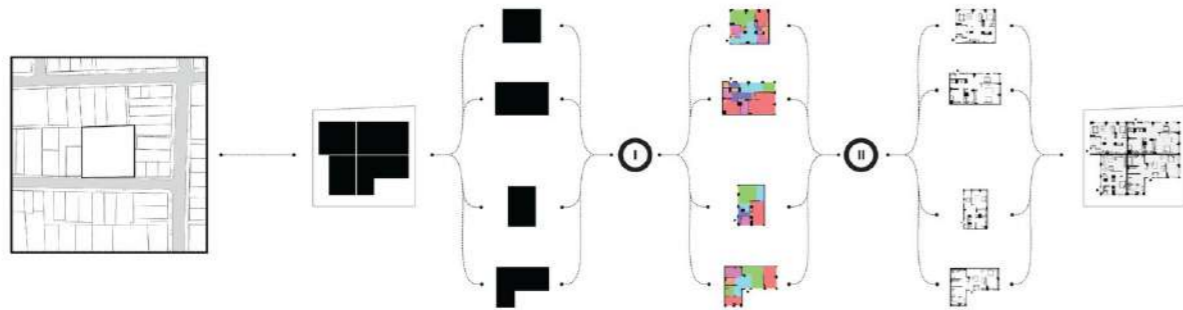


Figura 30: Proyecto de AI+ Architecture de Stanislas Chaillou.

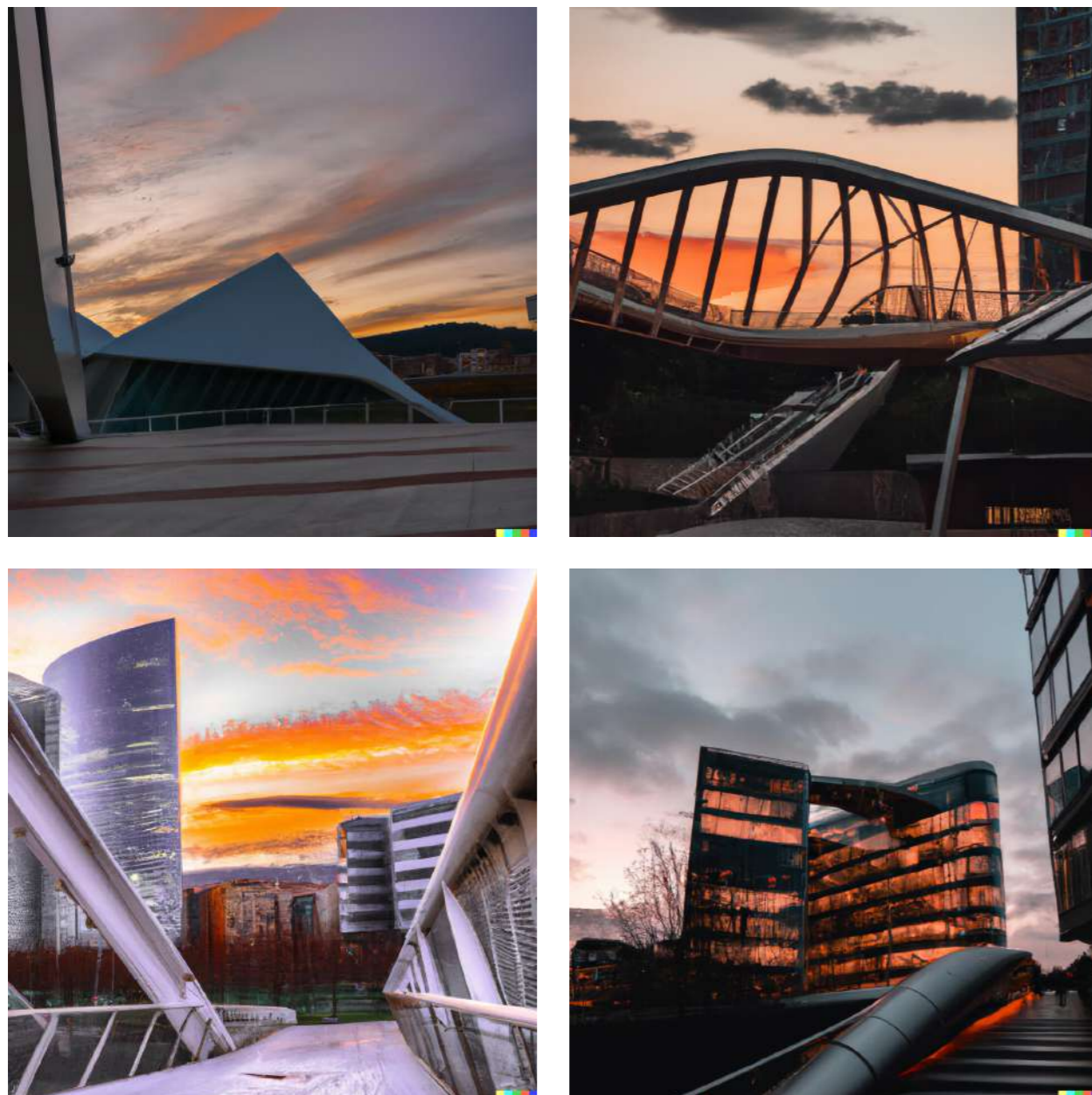


Figura 31: Elaboración propia de imágenes con inteligencia artificial usando DALL-E.

reparto de aportaciones entre informáticos y arquitectos. El trabajo de Negroponte asignó a las computadoras un papel más activo en el proceso de concepción, más allá de la simplicidad de otras investigaciones CAD de la época. Su trabajo ayudó a aclarar y demostrar el tipo de interacción que los arquitectos pueden esperar de los programas de diseño inteligente en el futuro previsible.

Alrededor del mismo período, Cedric Price investigó otra faceta de la IA: el principio de autonomía (Wright Steenson, 2017). A tal efecto, en 1976, cuando Price era profesor de en la Universidad de Cambridge, inventó el Generator. Con este proyecto, concebido inicialmente como una propuesta para Gillman Corporation, Price exploró el concepto de edificio autoadaptable. En el proyecto, una planta, organizada como una retícula ortogonal, permitía modificar constantemente un sistema de particiones (Hardingham, 2016). Una computadora se encargaba de ofrecer nuevos esquemas de partición, ya sea para adaptar el plan a los comportamientos de los usuarios, o de manera espontánea, como una forma de desencadenar nuevas condiciones. En esencia, el trabajo de Price abordó el potencial de las máquinas como agentes de diseño autónomo (Furtado et al., 2008). El Generator pronosticó, desde el principio, cómo la inteligencia artificial podría encontrar su lugar dentro del software arquitectónico, mientras desempeñaba un papel específico en el proceso de diseño (Chaillou, 2022).



Figura 32: Cedric Price.

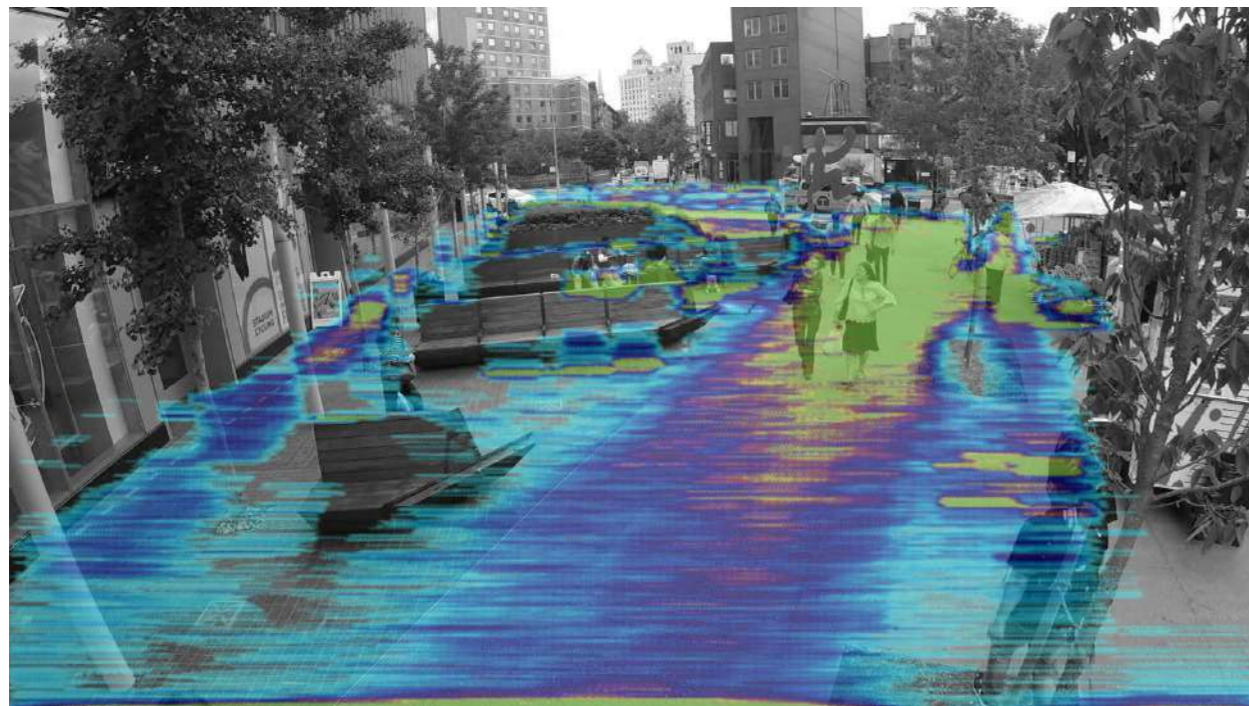


Figura 33: Plaza Life Revisited por XL Lab SWA Group.

Tanto el trabajo de Price como la investigación de Negroponte han dado forma a la discusión en arquitectura en torno al tema de la IA. La inteligencia artificial en sí ha mejorado significativamente desde estos primeros experimentos. Wright Steenson entiende que las intuiciones de Price y Negroponte encuentran hoy una nueva trascendencia pues estas convicciones ya no se limitan a un puñado de proyectos de investigación aislados. En cambio, la creciente asequibilidad y accesibilidad de la IA trae estas consideraciones de vuelta al centro de las discusiones en arquitectura. De hecho, según Chaillou (2022), la última década ha visto un fuerte aumento en la difusión de la IA en el campo de la arquitectura. En este punto, estimar su presencia actual sigue siendo un ejercicio desafiante, ya que el escenario de la inteligencia artificial en arquitectura parece tan diverso como reciente.

Todo esto ya se manifiesta en un aumento importante de publicaciones de libros y artículos pertinentes a la inteligencia artificial y su conjunción con la arquitectura. Una importancia que incluso hace eco en entornos más tradicionales como la Bienal de Arquitectura de Venecia desde 2021 a través de charlas, paneles y conferencias magistrales que abordan este tema. Luego, volviendo al estado del software convencional, el inicio gradual de la capacidad de IA ha acercado estas tecnologías a los arquitectos. La adición de funciones de diseño generativo a Revit,

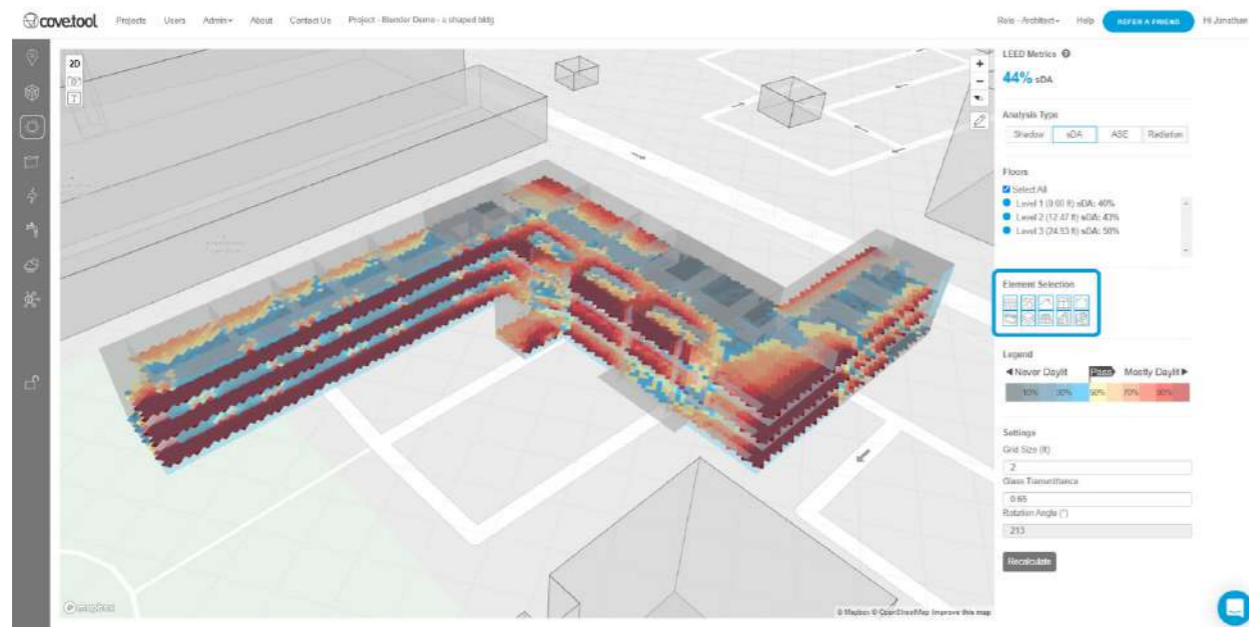


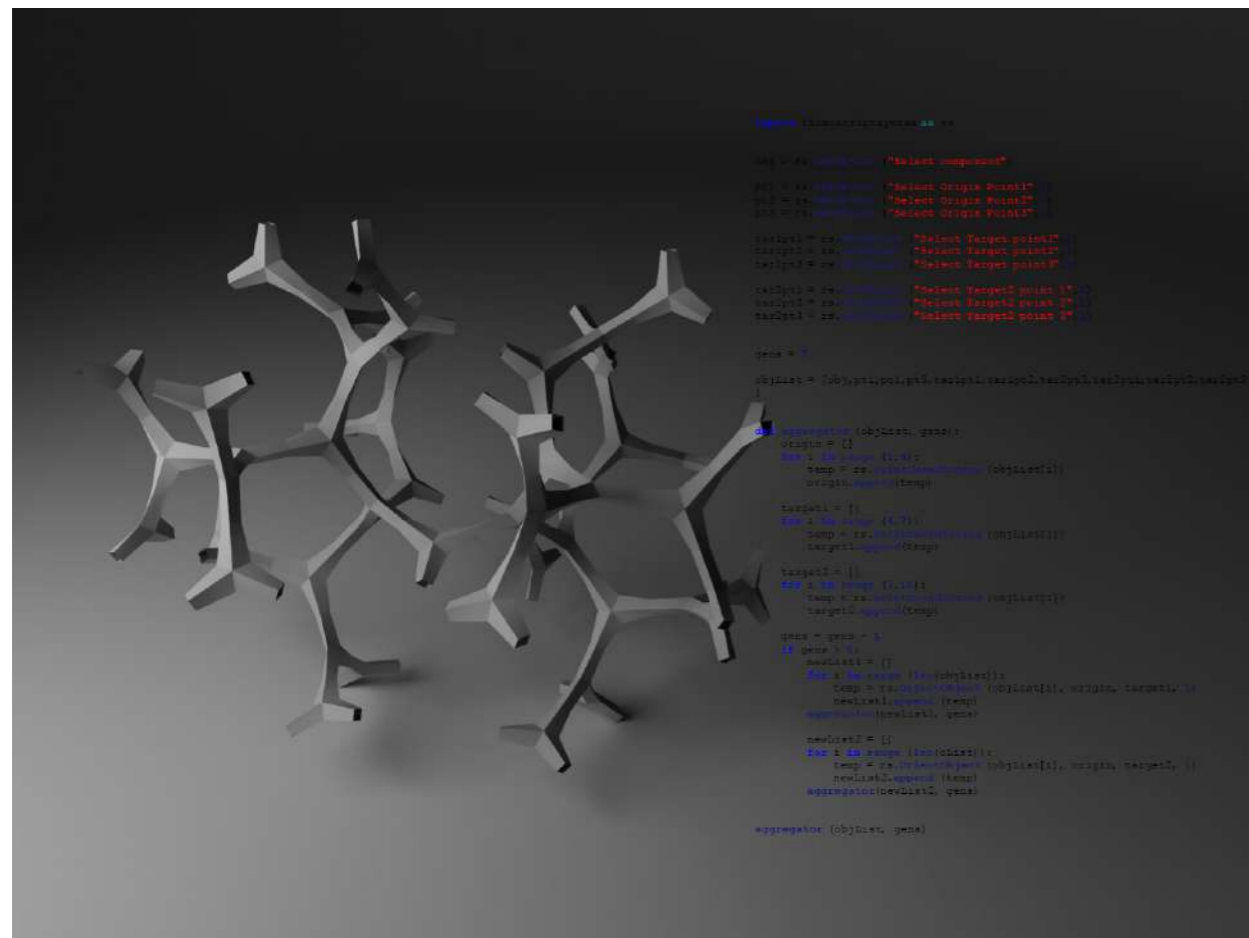
Figura 34: Análisis ambiental con Covetool.

por ejemplo, o la multiplicación de bibliotecas de aprendizaje automático para Grasshopper, representan oportunidades para que los profesionales se involucren con esta tecnología (Chaillou, 2022). Además, recientemente ha aparecido una nueva generación de herramientas de diseño más ligeras. En su mayoría conectadas a internet, ofrecen acceso barato y simple a herramientas de diseño basadas en inteligencia artificial. Spacemaker, Archistar, DALL-E, Delve, Covetool son solo algunos ejemplos de este reciente ecosistema de aplicaciones web. Ya en universidades y un número creciente de academias, se ofrecen clases o incluso títulos que preparan a arquitectos para abordar tareas con inteligencia artificial, y sus aplicaciones en diseño generativo, optimización, etc. Si difuminamos la línea que divide la arquitectura paramétrica y las herramientas de inteligencia artificial, podemos explotar los beneficios que ofrecen ambas partes y diseñar con variables que crean un proyecto más transversal.



Figura 35: Análisis de ordenanzas urbanísticas en Archistar.

A medida que esta tecnología arroja resultados prometedores en la ingeniería o la informática, ciertas aplicaciones de IA se transponen y reutilizan para que coincidan con la agenda arquitectónica. Este cruce de industrias se da hoy en día en campos tan variados y, en este sentido, la arquitectura se beneficia hoy en día de estudios interdisciplinarios más amplios que le puede proporcionar muchas soluciones tecnológicas listas para usar, desde coches autónomos a edificios inteligentes.



De hecho, la aparición de la IA en la arquitectura nos deja con un nuevo paisaje fragmentado de aplicaciones, teorías y actores que muchas veces no coinciden en una definición ni un camino único a tomar. Esta cronología, para Stanislas Chaillou, sigue siendo tan abierta como el espectro de escenarios potenciales que enfrentamos hoy.

Figura 36: Crecimiento y agregación recursiva con Grasshopper por Miautics.

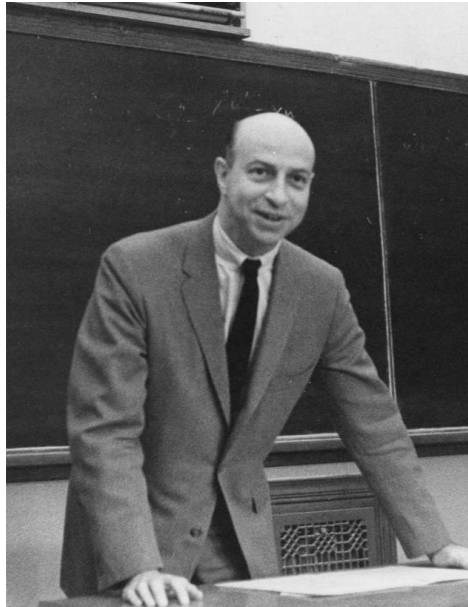


Figura 37: Melvin Kranzberg



Figura 38: La educación gráfica antes de los ordenadores.

2. La educación gráfica en la arquitectura

2.1 Contexto

Melvin Kranzberg (1986) estableció sus siguientes seis leyes fundamentales sobre la revolución tecnológica:

1. La tecnología no es ni buena ni mala, ni tampoco neutral.
2. La invención es la madre de la necesidad.
3. La tecnología viene en paquetes grandes o pequeños.
4. A pesar de que la tecnología puede ser un elemento primario en muchos asuntos públicos, los factores no técnicos tienden a preceder en las decisiones de política sobre desarrollo tecnológico.
5. Toda la historia es relevante, pero a la historia de la tecnología es la más relevante.
6. La tecnología es una actividad humana, por lo tanto, también lo es la historia de la tecnología.

Siendo consciente que ha pasado un tiempo considerable desde entonces, se puede asumir que muchas de estas leyes están aún vigentes. Aplicando la primera a la computación (arquitectónica), área de la tecnología que Kranzberg no contemplaba, se puede hacer una crítica a la neutralidad sobre estos asuntos en la práctica arquitectónica. Algunas personas pudieron pensar que el establecimiento de herramientas digitales en los planes de estudios universitarios de arquitectura era algo negativo pues dejaba de lado el trazo del arquitecto, era frío y no permitía hacer dibujos con una plasticidad digna. Mientras que otros lo vieron



Figura 39: The city of the captive globe, por Rem Koolhaas y Madelon Vriesendorp en 1972.

positivo, ya que entendían que a futuro ahorraría tiempo, tendría aplicaciones específicas y desarrollaría trabajos casi imposibles de hacer de manera análoga. Sin embargo, las personas solían tener una posición al respecto, anulando la neutralidad sobre el asunto.

La simbiosis entre arquitectura y computación se puede aplicar a muchas ramas de la profesión del arquitecto. Sin embargo, en cada una de ellas la computación tiene un resultado visual que se puede demostrar con planos y mapas en dos dimensiones, con un modelo 3D de geometría específica, o directamente con tablas y gráficos como tratamiento de los datos que el software ofrezca. Más allá de la mera transformación de los medios proyectuales, el nuevo paradigma de diseño también ha contribuido, según Rivka Oxman (2008), a la aparición de nuevas nociones, como lo continuo frente a lo discreto, lo intrincado frente a lo jerárquico, lo topológico frente a lo tipológico, la estructura frente a la forma, u otras dualidades que dialogan entre sí.

El proceso de evolución gráfica en la representación del diseño ya ha sido formulado por varios teóricos del diseño. Cualquier enfoque de una nueva pedagogía basada en nuevas formas de pensamiento de diseño digital debe ir necesariamente más allá de la representación, el lenguaje formal y la estética de un proyecto. Hoy en día, el alejamiento de los conceptos de diseño basados en

papel intenta crear contrateorías de modelos digitales en lugar de la representación y modificación de imágenes (Oxman, 2008).

El modelo educativo convencional en arquitectura se ha nutrido de conocimientos aceptados, simulando la práctica profesional como modelo didáctico, y aún emplea bases de conocimiento y tipologías aceptadas en el diseño arquitectónico. Oxman (2008) recalca que las etapas didácticas están impulsadas generalmente por una interpretación teórica del programa de cada asignatura, el sitio de actuación y las condiciones específicas que se llevan a cabo a través de etapas de conceptualización, diseño esquemático y desarrollo proyectual.

El conocimiento tipológico es uno de los principios fundamentales de la educación arquitectónica moderna. Según Colquhoun (1989) es precisamente a través de la persistencia de formas anteriores que el sistema puede transmitir significado. Estas formas, o tipos, interactúan con las tareas presentadas a la arquitectura, en cualquier momento de la historia, para formar el sistema completo.

Los modelos y procesos de diseño digital pueden proporcionar una orientación diferente para la exploración creativa. En lugar de una definición de problema tipológico convencional, incluyendo el contexto y los programas funcionales explícitos de cada proyecto, las definiciones de modelos digitales como animación

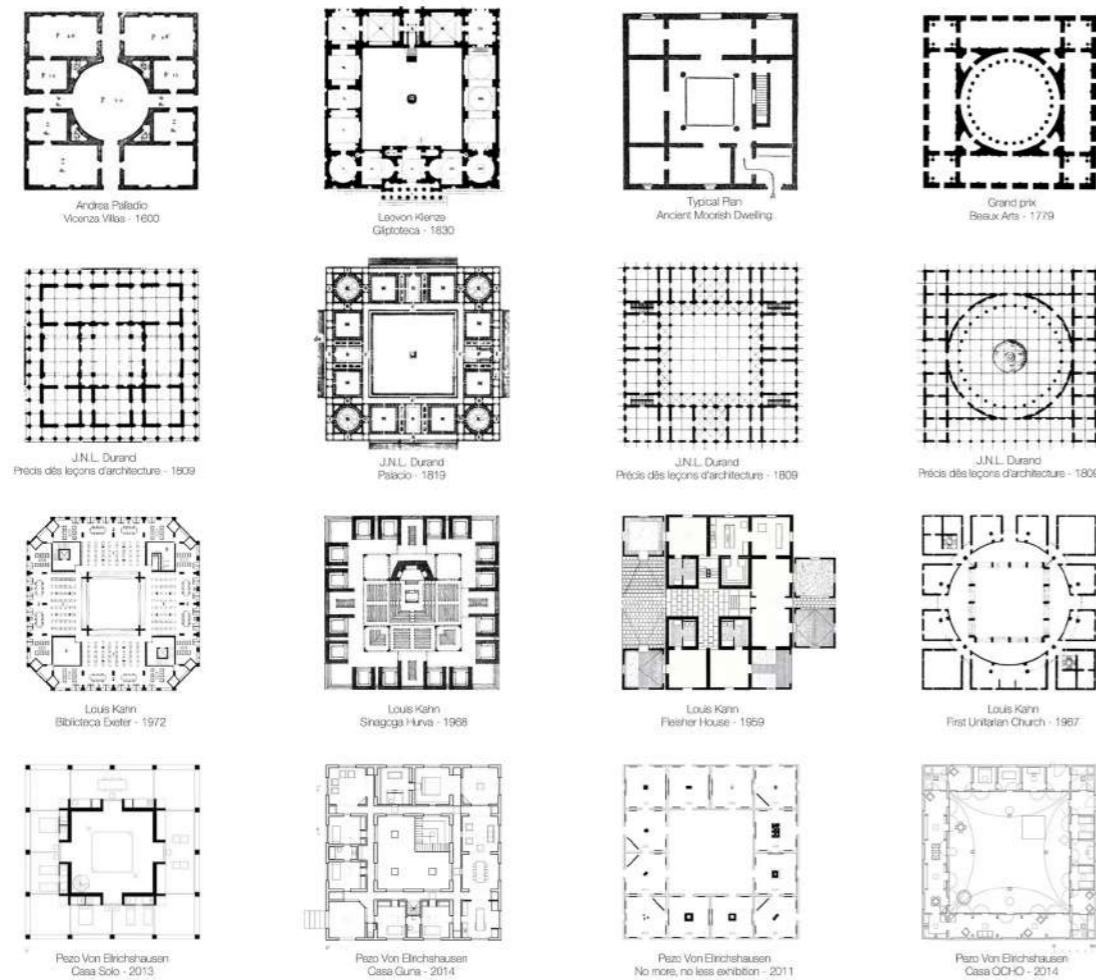
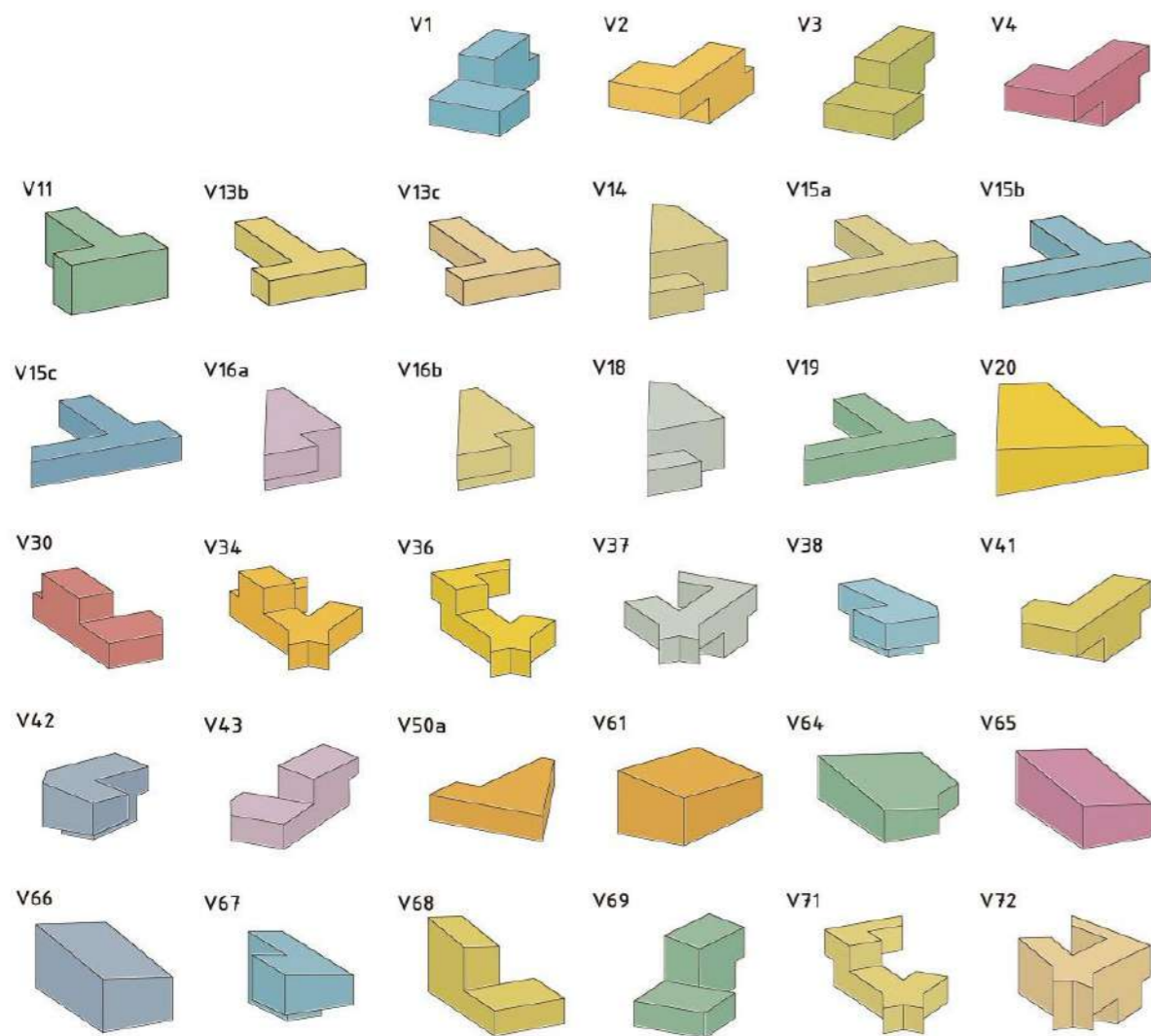


Figura 40: Serie retrospectiva, por Pezo Von Elrichshausen.



o diseño paramétrico pueden servir como punto de partida para la exploración del diseño. Oxman (2008) entiende que tales orientaciones son explícitamente antitipológicas.

El proceso educativo no tiene por qué estar necesariamente orientado a proyectos, como ocurre en muchos planes de estudios. No es necesario presentar ningún programa o sitio específico al inicio del diseño, asumiendo que el diseño es una actividad exploratoria y basada en la investigación. Se podría plantear que la enseñanza esté "orientada al modelo", donde la investigación de modelos y procesos digitales junto con una orientación a la "exploración material" son significativamente diferentes de muchas de las tradiciones pedagógicas existentes en la formación de arquitectura.

La arquitectura digital es experimental, y en ese sentido suele estar orientada a la investigación, como es el caso de ciertos programas de posgrado. En la oferta académica de la ETSAM se encuentran maestrías específicas de, por ejemplo, metodología y gestión BIM de proyectos, o de infografía avanzada aplicada a la arquitectura (UPM, n.d.). En ambos programas, la computación juega un papel fundamental.

Figura 41: Diegrama del proyecto VM houses por BIG.

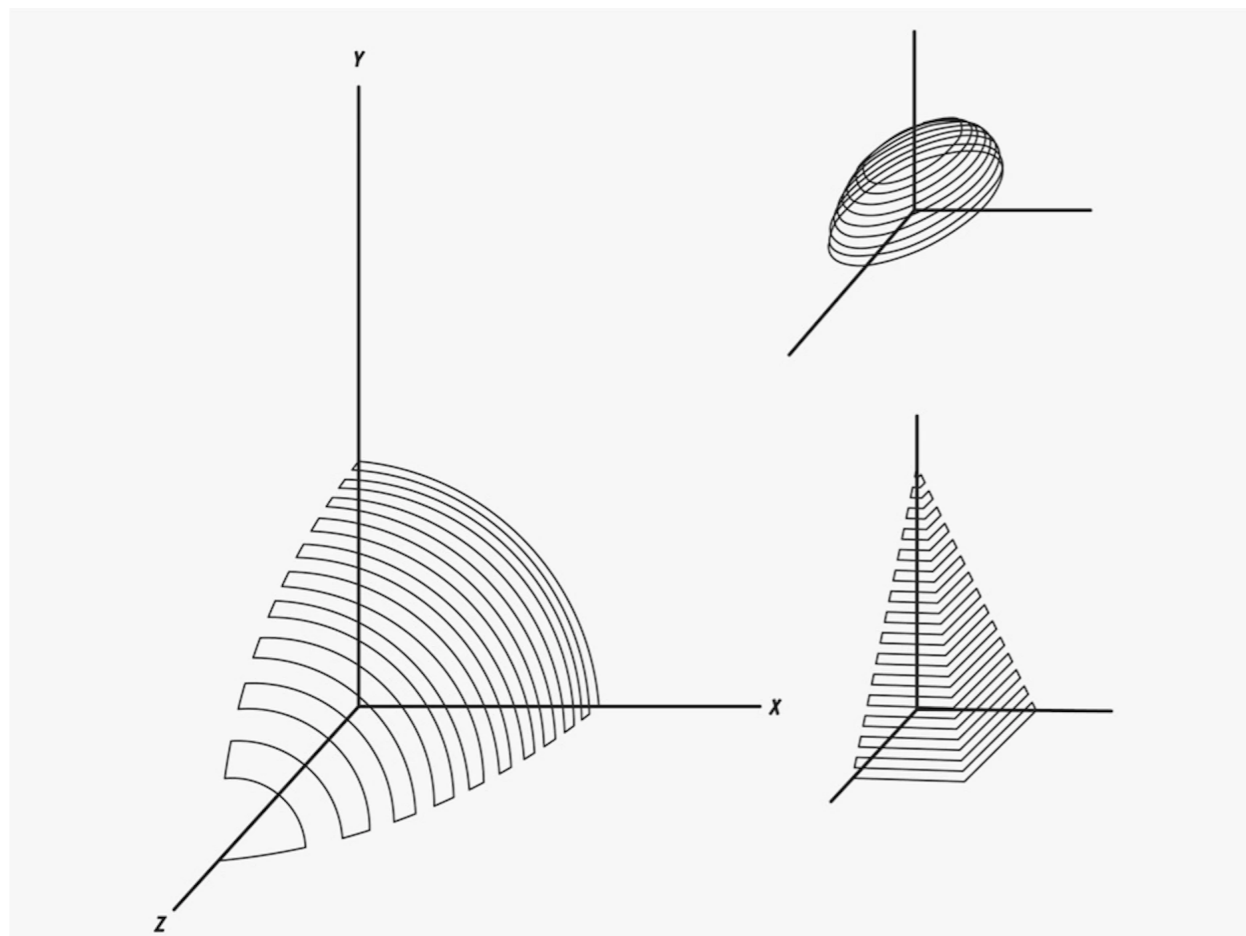


Figura 42: Laboratorio de servomecanismos del MIT, reconstrucción de un dibujo original producido por Whirlwind Computer en 1958.

2.2 El desafío pedagógico

El caso de la Hochschule für Gestaltung (HfG) en Ulm, Alemania, nos muestra que su proceso de digitalización fue tan necesario como arduo. Esta universidad no era técnica, era las secuelas de una Bauhaus de posguerra. Fundada por Max Bill, Otl Aicher y Inge Aicher-Scholl, la escuela se dedicaba a diseñar “desde una cuchara hasta una ciudad” (Bill, 1945-1988). Para eso, el plan de estudios estaba enfocado en el proceso de diseño.

Tomás Maldonado, profesor de la HfG, impulsó la digitalización de la universidad. Cuando lo cibernético entró en las aulas a través de su interés en la semiótica, parecía prometedor el sueño de diseño programable y de belleza objetiva (Meister, 2020). La informática, como término compartido entre máquina y hombre, parecía ser la herramienta con la cual se podría eliminar ciertos errores humanos en un proyecto.

Anteriormente, el proceso de proyecto se hacía sobre el papel, tanto en las universidades como en la práctica profesional. Todo esto se fue diluyendo hasta que la arquitectura llegó a una versatilidad de representación en todos los conceptos que la atañan. Con respecto a algunos de los conceptos fundamentales de la profesión, las transformaciones de los principios pedagógicos tradicionales han demostrado implicaciones para el campo de la educación en arquitectura y diseño.



Todo esto cambia cuando en las universidades se comienza a hablar de otros temas para transformar el discurso educativo. Esto hace que cambien los conceptos básicos de la teoría del diseño, como la representación, las tipologías y otros principios fundamentales en la educación en arquitectura (Oxman, 2008). En su lugar, se introducen conceptos como morfogénesis, diseño generativo y basado en el rendimiento, gestión de datos y producción. Estos nuevos procesos comienzan a formar parte de la lógica subyacente del diseño arquitectónico digital actual, junto con muchos otros que son de aplicación directa en el modelado digital.

A medida que los medios de diseño digital se vuelvan más complejos y exigentes con respecto al conocimiento de múltiples tipos de software y metodologías de trabajo, así como la manipulación de modelos de datos complejos; será necesario educar a una nueva generación de arquitectos. La idea del diseñador como productor de herramientas digitales refleja tanto el potencial para personalizar los medios de diseño digital como la necesidad del conocimiento especializado necesario para operar dichos medios.

La educación digital en la arquitectura ha traído muchos otros desafíos pedagógicos que van más allá del mismo software. No todos los estudiantes pueden tener acceso a la misma tecnología

Figura 43: Proyecto estudiantil dentro de la Unit 10 de la Bartlett UCL, por Damien Assini en 2017.

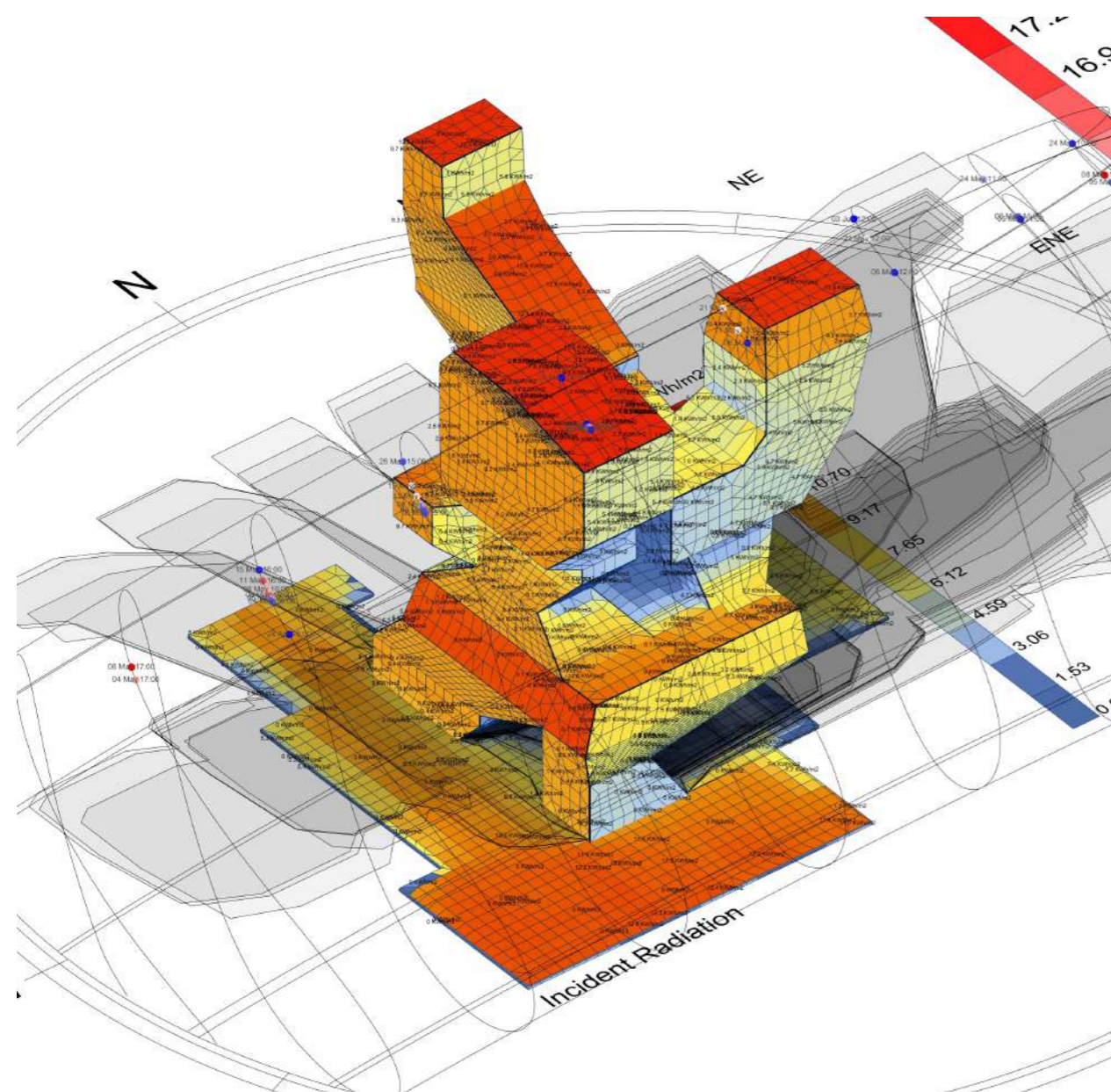


Figura 44: Análisis de radiación y sombras por Miautics.

o pueden tener diferentes niveles de familiaridad con el uso de la tecnología para la educación. Esto puede crear desigualdades en la experiencia de aprendizaje. Se debe ser consciente de la necesidad de muchos estudiantes a utilizar softwares de piratería o que sus ordenadores no tienen un rendimiento óptimo para algún programa específico, lo que puede obstaculizar su capacidad de aprender y practicar.

La arquitectura digital a menudo implica el uso de programas de software complejos, que pueden ser difíciles de aprender y dominar para los estudiantes. Esto conduce a una curva de aprendizaje empinada para algunos y suele requerir apoyo y recursos adicionales. El campo de la arquitectura digital está en constante evolución, un desafío claro para la universidad es capacitar y mantener al día a sus educadores con las últimas tecnologías digitales, así como brindar licencias de software a sus estudiantes, en medida de lo posible. Ambas partes están involucradas y si no ocurre, suele llevar a una desconexión entre lo que los estudiantes están aprendiendo y la práctica profesional.

Separando el uso de las herramientas digitales aplicadas a práctica profesional, desde una perspectiva pedagógica aparecen inquietudes relacionadas con las metodologías de aplicación y los criterios de integración al desarrollo de proyectos arquitectónicos. Diego A. Velandia (2009) cuestiona la eficiencia en que los

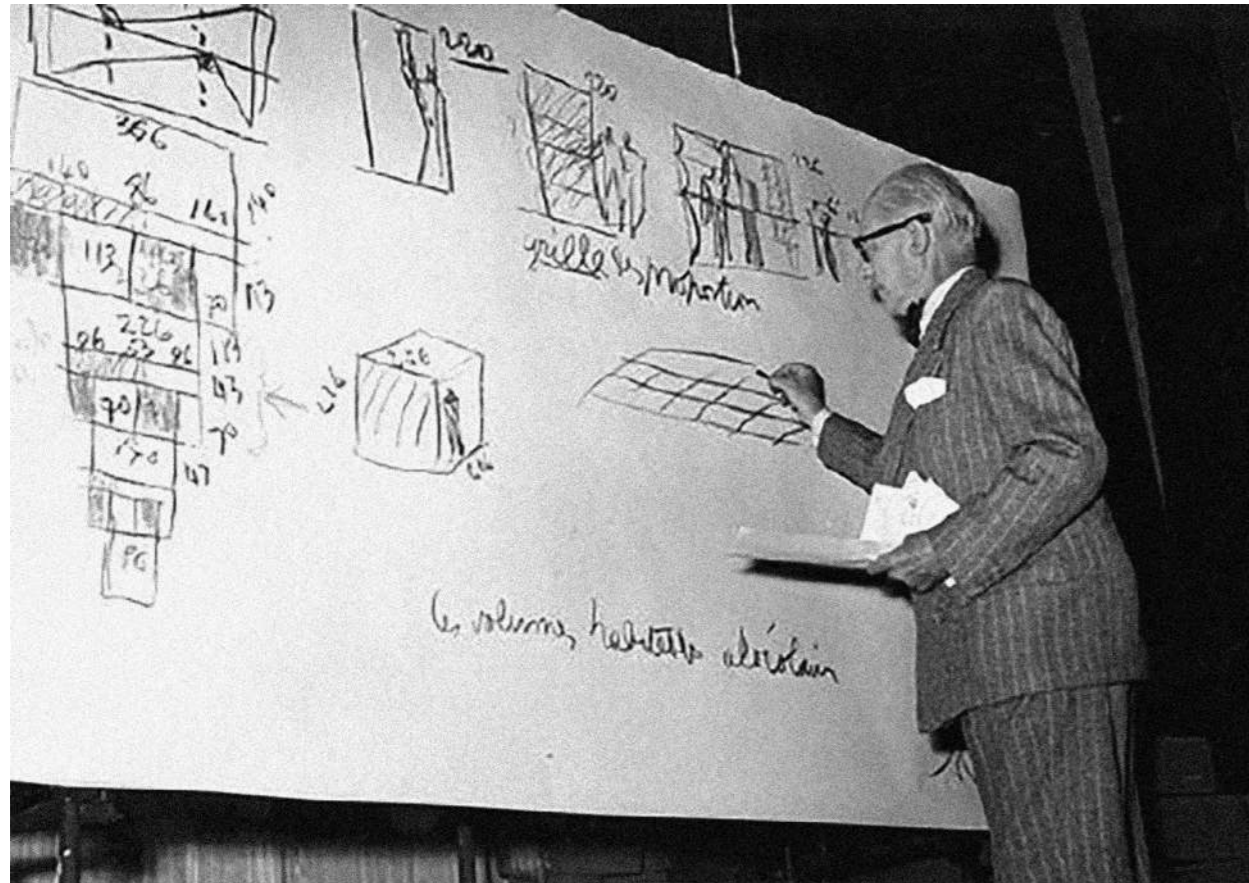


Figura 45: Le Corbusier dibujando en la Trienal de Milán, 1951.

estudiantes utilizan las herramientas, si lo hacen de la misma manera que en el campo profesional o si se puede mejorar. Según el autor, "estas son preguntas que se debería hacer y tratar de resolver la academia, ya que de las posibles respuestas pueden surgir metodologías apropiadas para la enseñanza de estas herramientas".

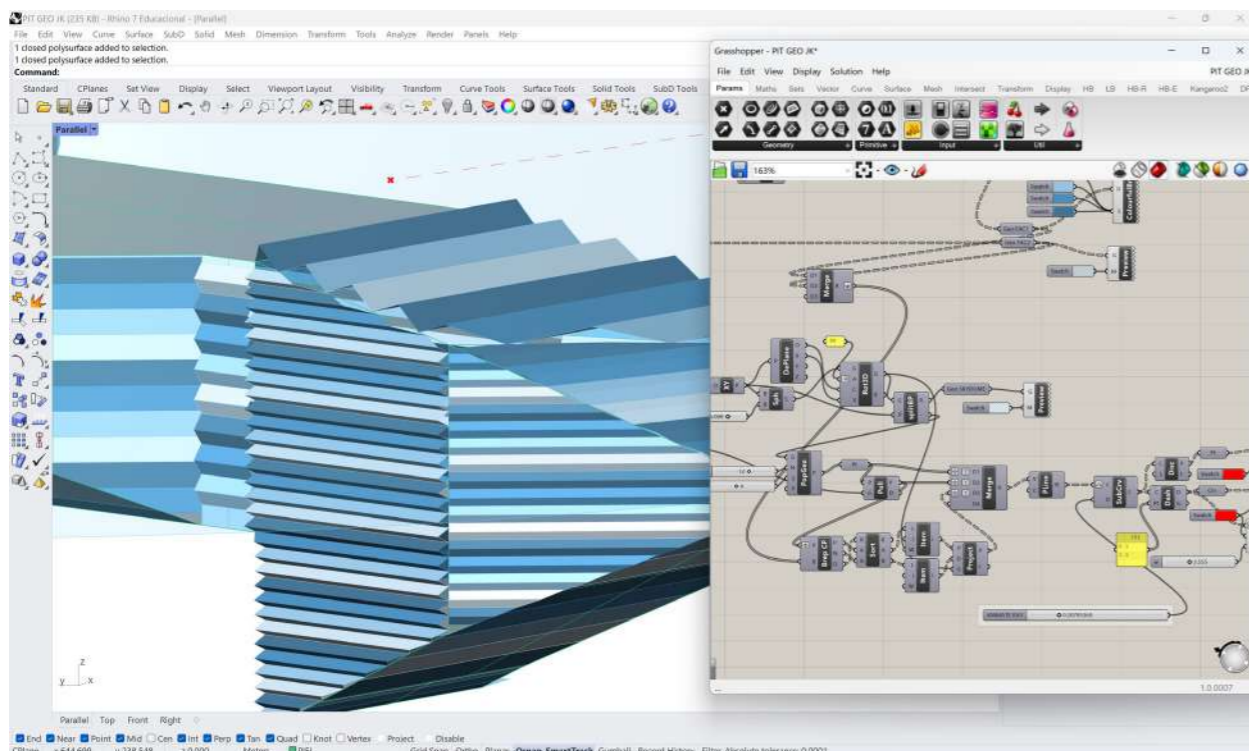
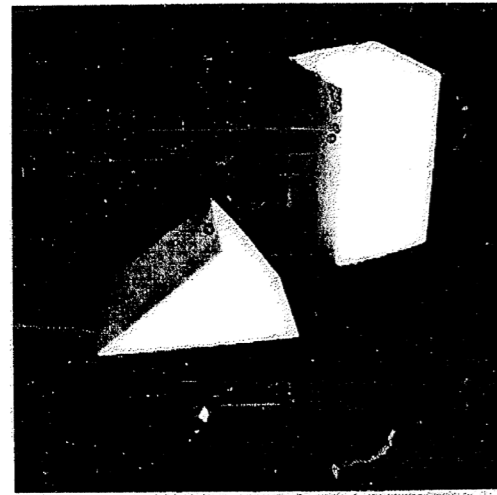
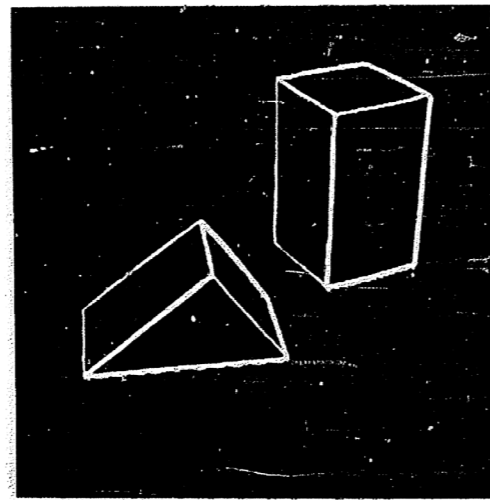


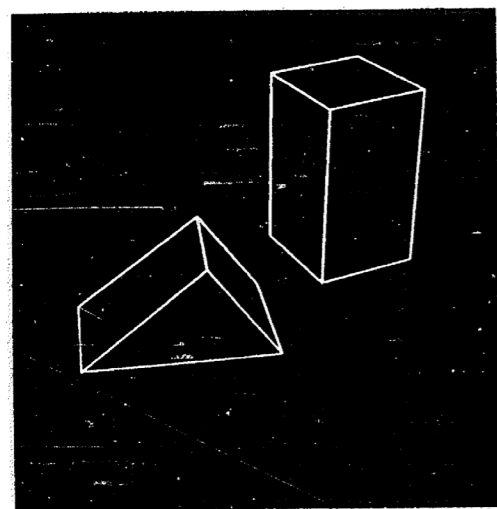
Figura 46: Interfaz de trabajo en Rhino y Grasshopper, elaboración propia.



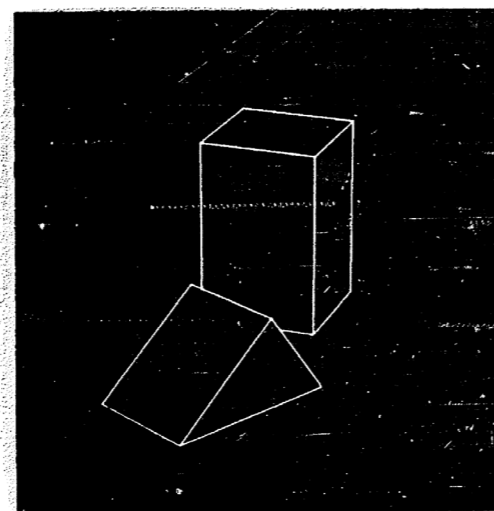
A. Original Picture



B. Differentiated Picture



C. Line Drawing



D. Rotated View

Pictures 3A - 3D:

Multiple Objects: Reduction of photograph to line drawing and 3-D construction, involving ground plane determination of depth.

2.3 La enseñanza digital

Muchas universidades con presupuestos óptimos fueron capaces de investigar sobre el tema cuando éste era incierto y muy novedoso. Por ejemplo, el CAD Project del MIT, dirigido por Douglas Ross y Steven Coons entre 1959 y 1970, exploró los sistemas que podrían realizar los distintos procesos de diseño. Según Cardoso Llach (2015, p. 54), sus perspectivas en torno a automatización y realidad aumentada representaba los lados de un debate filosófico sobre los alcances de la creatividad y lo que podría permitir la computación. Los investigadores del CAD Project equiparon ordenadores de tiempo compartido con dispositivos de entrada y salida como osciloscopios, tubos de rayos catódicos y bolígrafos de luz que permitieron al usuario dibujar y realizar transformaciones de estos dibujos. El mismo Coons fue asesor en la disertación de tesis de Ivan Sutherland (Wright Steenson, 2020).

Para Rivka Oxman (2008), la exploración de nuevos conceptos requiere diferentes etapas de exploración, que se logra cambiando el enfoque de estudio convencional. En lugar de seguir la secuencia tradicional, por ejemplo, el análisis de un sitio determinado, la definición de programas funcionales, seguido del diseño conceptual, la generación del espacio arquitectónico, o la representación visual, se puede establecer un principio didáctico que trascienda la secuencia metodológica del diseño convencional, permite la exploración y la creatividad.

Figura 47: Proyecto de Larry Roberts sobre la visión perspectiva generada por una máquina, 1963.



Figura 48: Benedetta Tagliabue.



Figura 49: Estudiantes de arquitectura en la Universidad de Auburn.

En los últimos años, los avances tecnológicos tuvieron un impacto en el campo de la educación, y las tecnologías informáticas comenzaron a utilizarse principalmente en los departamentos de artes visuales, arquitectura y planificación de las universidades. Sin embargo, aplicaciones tales como el uso de herramientas de dibujo convencionales y técnicas gráficas, bocetos, dibujos de planos, secciones y alzados en papel y la producción de maquetas aún prevalecen en la formación de arquitectura.

El objetivo de la educación en arquitectura es formar personas que puedan cuestionar, pensar y percibir en tres dimensiones, transformar sus ideas abstractas en productos concretos y establecer una relación entre forma y función. Así, se espera que los estudiantes creen un proyecto original y lo expresen usando un lenguaje visual (Yilmaz et al., 2017). Los estudiantes podrían lograr esto usando las habilidades que les permiten visualizar ideas y formas y la habilidad de rotación mental. Así, los estudiantes podrían describir sus diseños mediante diagramas, bocetos, modelos tridimensionales y reducir este complejo proceso a un solo lenguaje a través de técnicas de dibujo.

Según Tagliabue (2011), es absolutamente necesario que el estudiante comience a expresarse mediante dibujos a mano y luego pase a los dibujos digitales. Dado que los movimientos de la mano son seguidos por el ojo en los dibujos, la coordinación



cerebro-mano se establece mejor. A medida que el estudiante internaliza los dibujos que hace a mano alzada, se le hace más fácil crear una imagen tridimensional en el proceso de pensamiento y rotar estas imágenes en su mente (Tagliabue, 2011).

La representación digital, por otro lado, permiten hacer un dibujo más preciso, con mayor detalle y facilidad de su posterior edición. Sin embargo, durante el dibujo digital, la interiorización del sentido táctil es incompleta. Lo que hace una persona para dibujar un plano en ordenador, mover el ratón y darlo a los botones, no se corresponde con lo que dibuja. Por lo tanto, el dibujo digital no suele ser suficiente para que el estudiante adquiriera habilidades de expresión y visualización tridimensional que son necesarias para el desarrollo del estudiante. (Yilmaz et al., 2017).

En este contexto, durante el primer y segundo año de educación en escuelas de arquitectura enfocadas en proyectos, a los estudiantes se les permite inicialmente dibujar con la mano para adquirir las habilidades para expresar sus ideas en dos dimensiones, luego adquirir el pensamiento dimensional, habilidades de percepción y expresión. En los años restantes, después de que los estudiantes sean capaces de transformar los diseños en bocetos, se les permite dibujar en un entorno digital para aprender todas las técnicas utilizadas para digitalizar estos bocetos y construirlos en tres dimensiones.

Figura 50: Proyecto desarrollado en la Bartlett UCL por Michael Quach en 2016.



Figura 51: Proyecto fin de carrera por Ismael Medina Manzano en la ETSAM, 2020.

En la ETSAM, los estudiantes tienen durante el primer curso una asignatura donde se inculcan nociones de dibujo y pintura. Ellos se sueltan con distintos medios gráficos y salen de la zona de confort. Sin embargo, están aprendiendo al mismo tiempo a utilizar herramientas digitales para dibujar. Por lo tanto, es un proceso que va de la mano entre lo análogo y lo digital, en el cual muchas veces termina el ordenador opacando al lápiz y papel.

Más allá del dibujo, la educación actual de arquitectura abarca otros métodos de proyecto. Se ha comenzado a hablar del BIM hace dos décadas, y las salidas laborales que se ofertan para personas que lo manejen aumentan constantemente. Sin embargo, cuesta encontrar una universidad que, a día de hoy, tenga asignaturas obligatorias de esta metodología.

Es importante destacar el manejo de una herramienta digital o de un software específico no garantiza un buen resultado en procesos de pedagógicos. Es fundamental tener un criterio tanto de enseñanza del software o herramienta como de su aplicación en el ámbito profesional y responsabiliza a la institución académica y al profesorado para ello. La implementación de herramientas digitales debe ir acompañado de un planteamiento pedagógico completo, haciendo énfasis en la forma y metodología de aplicación (Velandia, 2009).



3. Casos de estudio

Para la realización de estos casos de estudios se llevó a cabo una investigación de cada centro educativo, ya sea Escuela, Facultad o Universidad, revisando sus planes de estudios para la formación de arquitecto y las asignaturas específicas en representación gráfica. También se entrevistó a un estudiante de grado que haya pasado por la escuela correspondiente con el objetivo de saber cómo fue su experiencia en torno a las herramientas digitales.

Se han elegido cuatro escuelas dentro de la Unión Europea para poder comparar cómo se lleva a cabo la enseñanza digital en un entorno próximo. La elección de las Universidades no ha sido arbitraria, sino que siguió los resultados del ranking publicado por Quacquarelli Symonds este año (2022), donde compara la calidad educativa específica de escuelas de arquitectura.

Dentro de las diez primeras de la UE también se encuentra la ETSAM, ocupando el puesto 29 del mundo. Sin embargo, se decidió no incluirla en las entrevistas. Las universidades elegidas fueron la ETSAB, la TU de Múnich, el Polimi y la TU Delft.

Figura 52: Collage con logos de las universidades elegidas, elaboración propia.



Figura 53: La Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña, ETSAB.

3.1 ETSAB – Barcelona, España

La Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB), afiliada a la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), es la segunda más antigua escuela de arquitectura de España, así como la más importante de Cataluña. La ETSAB tiene sus orígenes en el año 1817 cuando se crea la Escuela de Arte de la ciudad condal, sin embargo se enmarca dentro de la UPC desde los años setenta. La Escuela cuenta con unos 300 profesores que dan servicio a 3000 estudiantes aproximadamente.

El grado que ofrece la Escuela desde el año 2014 es el Grado de Estudios de Arquitectura, el cual forma a los estudiantes durante 5 cursos y posibilita los estudios de máster habilitante para la profesión de arquitecto en España.

Dentro de la ETSAB, el Departamento de Representación Arquitectónica ofrece asignaturas obligatorias y optativas para la correcta comprensión de los grafismos utilizados en la profesión. A lo largo de los primeros cuatro primeros años, los estudiantes deben cursar distintas asignaturas, también pueden elegir algunas en la oferta de optativas que ofrece la Universidad. Las asignaturas obligatorias que contemplan los estudios de arquitectura en la ETSAB son niveles en la asignatura de Dibujo, y 4 niveles en Representación Arquitectónica. En cuanto a las optativas, éstas van desde BIM hasta fotografía digital, con un total de seis asignaturas que ofrece el Departamento.

Entrevista**Nombre:** Cristina Terricabras Jové**Universidad:** ETSABarcelona, UPC**Ciudad:** Barcelona**Inicio de estudios:** Septiembre 2015**Graduación:** Septiembre 2022**¿Tenías experiencia con el software de diseño computacional antes de asistir a la Escuela de arquitectura?**

No sabía prácticamente nada. Bueno no, miento. En Cataluña, en bachillerato tienes que hacer un trabajo llamado *Trabajo de Recerca* donde te asignan un tutor en primero de bachillerato y en segundo lo presentas delante de un tribunal. En mi caso, intenté realizar una escuela en 3D como trabajo entonces tuve que aprender ese verano... Y lo realice con SketchUp. Ya que era fácil y rápido de usarlo.

¿Trabajas con modelos en 3D?

Si, pero suelo empezar siempre en 2D.

¿Dirías que la inteligencia espacial habría mejorado con modelos 3D? ¿Por qué?

Sí, porque te permitiría percibir y entender mejor la información visual ya sea del mundo abstracto o real.

¿Qué software(s) de diseño sueles utilizar? Nombra los principales.

Autocad, Adobe Suite (Photoshop, Illustrator, InDesign), Rhinoceros, Sketchup, V-Ray, Artlantis, Lumion y Grasshopper.

¿Dónde aprendiste a usarlos?

Algunas nociones básicas en la universidad pero en su mayoría de forma autodidacta.

¿Qué te enseñaron en la escuela de arquitectura? ¿En qué semestre?

Recuerdo que en primero de grado tuvimos una asignatura que se llamaba Dibujo I en donde el primer semestre te enseñaban Autocad y el segundo Sketchup.

Luego mas adelante, sino recuerdo mal en segundo de carrera había la asignatura de representación arquitectónica II donde te enseñaban Rhinoceros el primer semestre y Revit el segundo semestre. Representación arquitectónica III (tercero de grado)

te enseñaban utilizar programas de renderizado como Artlantis, Lumion o V-Ray que tenía una duración de un semestre.

Por último, Representación Arquitectónica IV nos enseñaron a utilizar algo de Grasshopper.

¿Qué tan dependiente eres de un ordenador cuando haces un proyecto? ¿Sueles hacer bocetos en el ordenador?

Creo que soy 100% dependiente cuando tengo la idea y el concepto claro. Sí que, de primeras, me gusta dibujar encima de un papel o papel sulfurizado pero una vez los croquis o dibujitos necesitan detalle y exactitud ya me paso al ordenador.

¿Alguna vez has utilizado la metodología BIM? Si es así, ¿cómo y con qué software?

Sí, en la universidad. Usé Revit en la asignatura de Representación arquitectónica III donde se tenía que moldear una casa unifamiliar con piscina, pero desde entonces que no lo he vuelto a tocar.

¿Produces renders arquitectónicos? ¿Qué tan hábil eres?

Sí, a veces. Aunque últimamente me está gustando más hacer collages pintorescos en Photoshop. Aunque tengo una base de

render de V-Ray normalmente.

¿Qué motor de renderizado utilizas? ¿Dónde aprendiste a usarlo?

Normalmente utilizo V-Ray. Me enseñaron las nociones básicas en la universidad, pero siempre tiro de videos de YouTube para aprender y mejorar.

¿Qué tan familiarizado estás con el diseño paramétrico con Grasshopper, Dynamo (Revit) o similar?

Sí, se usar Grasshopper, en temas de análisis solares, de viento... del entorno lo uso mucho a veces también para parametrizar alguna cosa del proyecto, pero escasa vez. Revit creo que puedo decir que se usarlo, pero debería mirarme algún tutorial o refrescar la memoria se realmente tuviera que hacer todo el proyecto en Revit. Aunque recuerdo que es bastante didáctico.

¿Qué formación tienes en software de diseño paramétrico?

Creo que poco. Lo que he podido aprender a la universidad o por mí misma.

¿Puedes decirme la diferencia entre BIM y diseño con Revit/ArchiCAD/Allplan?

Revit, ArchiCad o Allplan son herramientas que te permiten proyectar y BIM es una metodología.

¿Alguna vez has utilizado la inteligencia artificial para el diseño arquitectónico? Si es así, ¿cómo lo hiciste?

No he usado nunca. Quizás en un futuro próximo.

¿Está familiarizado con los siguientes términos?

Gemelos digitales

Simulaciones físicas y climáticas •

Sistemas de Información Geográfica (GIS) •

Diseño generativo

¿Crees que la práctica educativa y profesional de la arquitectura dependerá al 100% del diseño computacional? Si no es el 100%, ¿cuánto?

No creo, o espero que no. La máquina nunca podrá superar a la mano.

Si has experimentado una beca Erasmus o un intercambio, ¿cómo fueron tus impresiones con respecto a la diferencia entre el enfoque de diseño computacional de la universidad de destino? ¿Dónde has ido?

He realizado dos intercambios. Uno en CCNY donde el sistema es bastante parecido al español con el uso de programas parecidos tipo Revit, AutoCAD, Rhino y mucho Adobe Suite (Photoshop, Illustrator). Lo que vende es el hacer algo "bello". Lo único que me supuso un cambio grande es que ellos utilizan el sistema imperial y no métrico. Pero aparte de eso bastante parecido.

El segundo intercambio lo realice en TU Delft. Donde el sistema de uso por excelencia era Rhinoceros pero también aprendí mucho mas de Grasshopper para parametrizar el proyecto que realizamos.



Figura 54: Sala de trabajo para estudiantes de arquitectura en la Universidad Técnica de Múnich.

3.2 TU München – Múnich, Alemania

La Universidad Técnica de Múnich (TUM) ofrece el grado en arquitectura y el máster en arquitectura, dentro de su Departamento de Arquitectura. Cabe destacar que la culminación de ambos títulos no expide la licencia de arquitecto en Alemania, para ello se deben seguir una serie de requisitos especiales y examinarse en el estado federado correspondiente. El departamento cuenta con 1500 estudiantes y 150 docentes, aproximadamente.

Desde el Plan de Bolonia, el título expedido por la TUM es de *Bachelor of Arts* (BA), a diferencia con las titulaciones habituales para la formación del arquitecto, donde son de *Bachelor of Science* (BSc). La formación en la TU de Múnich, según cuentan en su página web, está orientado a proyectos y sigue el principio de la enseñanza basada en la investigación.

En cuanto al Plan de Estudios, la TUM solo cuenta con una asignatura obligatoria donde se abarcan contenidos de diseño arquitectónico asistido por ordenador. Ésta es *Digitale Formfindung* (Búsqueda digital de la forma). En cuanto a la representación gráfica, tienen dos asignaturas más, pero, según el contenido, no llevan contenido digital. La Universidad Técnica de Múnich es la única universidad europea que ha introducido un año obligatorio de intercambio durante el tercer curso del Grado en Arquitectura.

Entrevista

Nombre: Monica Ciobotar

Universidad: TUM

Ciudad: Múnich

Inicio de estudios: 2017

Graduación: 2021

¿Tenías experiencia con el software de diseño computacional antes de asistir a la Escuela de arquitectura?

Antes de asistir a la TUM nunca tuve experiencia en cuanto al diseño con ordenador. Sí que dibujaba bastante, pero de manera análoga. Durante el primer curso en Múnich tampoco usábamos ordenadores para dibujar, fue recién en el tercero donde comenzamos a hacer entregas con dibujos digitales.

¿Trabajas con modelos en 3D?

Sí, trabajo bastante con modelado en 3D.

¿Dirías que la inteligencia espacial habría mejorado con modelos 3D? ¿Por qué?

Sí, diría que ayuda bastante para ver y entender el espacio en tu

cabeza. Creo, sin embargo, que un punto muy importante entre los modelos en 3D y los dibujos en 2D es que con los dibujos tienes que imaginártelo muy bien, en plan visualizarlo y creerte cómo los espacios están funcionando. Con 3D, en cambio, diseñas directamente el espacio y luego el mismo modelo te dice cómo va quedando. Tienes que hacer un salto para un entendimiento más transversal.

¿Qué software(s) de diseño sueles utilizar? Nombra los principales.

En la TUM usaba únicamente ArchiCAD. Luego de graduarme fui experimentando con Rhino para modelar formas más raras, mientras sigo usando ArchiCAD para los dibujos.

¿Dónde aprendiste a usarlos?

Todo de forma autodidacta.

¿Qué te enseñaron en la escuela de arquitectura? ¿En qué semestre?

Nunca tuvimos cursos obligatorios en la escuela. Mi formación en la TUM fue muy precaria, los profesores tenían grandes expectativas, pero no nos ofrecían clases o cursos específicos. Sí

que es verdad que ofrecen cursos de BIM, pero son más de gestión de datos que de diseño. Además, que son cursos de máster.

¿Qué tan dependiente eres de un ordenador cuando haces un proyecto? ¿Sueles hacer bocetos en el ordenador?

Soy muy dependiente. Hago bocetos con el ordenador, pero también con dibujos a mano alzada para entender el concepto de mi proyecto. Eso sí, para diseñar los espacios en serio, utilizo únicamente el ordenador.

¿Alguna vez has utilizado la metodología BIM? Si es así, ¿cómo y con qué software?

Sí, pero más que nada en la oficina donde trabajé después de graduarme del grado. Usé un poco de la metodología BIM en la TUM para compartir el archivo de un proyecto que hacía con un compañero. Usamos solamente ArchiCAD.

¿Produces renders arquitectónicos? ¿Qué tan hábil eres?

Sí, lo hago. Soy bastante promedio en cuanto a habilidad.

¿Qué motor de renderizado utilizas? ¿Dónde aprendiste a usarlo?

Durante mis años en TUM usaba directamente el motor de renderizado de ArchiCAD, y hacía la postproducción con Photoshop. También usé un poco de Lumion. Luego de graduarme comencé a usar Twinmotion. Aprendí a utilizarlos por mi cuenta.

En la TUM, que casi lo había olvidado, tuvimos una clase obligatoria donde teníamos que diseñar una silla orgánica con Cinema4D y luego renderizarlo con el mismo programa. Nos enseñaron lo básico del programa, pero no llegamos a intensificar en ese conocimiento posteriormente.

¿Qué tan familiarizado estás con el diseño paramétrico con Grasshopper, Dynamo (Revit) o similar?

En la TUM no tenía idea, pero este semestre en el máster en la ETH de Zúrich sí que hice un curso optativo. Eso es un aspecto bastante negativo de la TUM, que no te da la posibilidad de hacerlo.

¿Qué formación tienes en software de diseño paramétrico?

Muy básica, lamentablemente.

¿Puedes decirme la diferencia entre BIM y diseño con Revit/ArchiCAD/Allplan?

BIM es un sistema de gestión de información y de comunicación, mientras que ArchiCAD es la herramienta para diseñar.

¿Alguna vez has utilizado la inteligencia artificial para el diseño arquitectónico? Si es así, ¿cómo lo hiciste?

No, nunca he usado.

¿Está familiarizado con los siguientes términos?

Gemelos digitales

Simulaciones físicas y climáticas •

Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Diseño generativo

¿Crees que la práctica educativa y profesional de la arquitectura dependerá al 100% del diseño computacional? Si no es el 100%, ¿cuánto?

Yo creo que la práctica profesional ya es un 100% dependiente de la computación. Sí que se me vienen a la cabeza estudios que trabajan mucho con materiales y conceptos más análogos, como

Ensamble o Anne Holtrop. Quizás ahí un 95%. En cuanto a la educación, yo creo que si la universidad tuviese más asignaturas obligatorias de diseño computacional estaría muy feliz de cursarlas y aprender, para no perder horas mirando tutoriales.

Si has experimentado una beca Erasmus o un intercambio, ¿cómo fueron tus impresiones con respecto a la diferencia entre el enfoque de diseño computacional de la universidad de destino? ¿Dónde has ido?

Yo me fui de Erasmus a Milán. Tanto el Polimi con la TUM usan el diseño computacional, pero creo yo que desde perspectivas distintas. En Alemania por ejemplo usamos ArchiCAD y Vectorworks, porque son programas alemanes, mientras que en Italia usaban más los programas de Autodesk como Revit y Rhino.



3.4 Politecnico di Milano – Milán, Italia

El Politécnico de Milán, o Polimi como se le conoce habitualmente, es una universidad técnica en esta universidad italiana. En general, la formación en el Politécnico tiene bastante reconocimiento tanto dentro de Italia, como fuera.

El grado en diseño arquitectónico incluye un amplio marco disciplinario basado en las ciencias, las humanidades y las artes, que refleja el amplio espectro de conocimientos y habilidades que requiere hoy en día un arquitecto para abordar adecuadamente los desafíos. Dentro del plan de estudios, el Polimi tiene asignaturas específicas para la representación gráfica como Fundamentos de la Representación y una serie de Digiskills, donde los estudiantes aprenden, en mayor o menor medida, distintos softwares. Este conocimiento lo ponen a prueba cuando proyectan.

Figura 55: La recién inaugurada extensión de la facultad de arquitectura del Politecnico di Milano diseñada por Renzo Piano.

Entrevista

Nombre: Jasmine Di Martino

Universidad: Politecnico di Milano

Ciudad: Milán

Inicio de estudios: 2015

Graduación: 2019

¿Tenías experiencia con el software de diseño computacional antes de asistir a la Escuela de arquitectura?

Asistí a la Escuela Secundaria Artística en Italia y el único software que tuvimos la ocasión de usar fue Photoshop, aparte de una pequeña información al respecto, no tenía experiencia con ningún otro software.

¿Trabajas con modelos en 3D?

Sí, pero personalmente mientras hacía el grado no tenía mucha experiencia en su uso.

¿Dirías que la inteligencia espacial habría mejorado con modelos 3D?

Realmente no puedo responder a esta pregunta. Mi experiencia

personal sobre la inteligencia espacial provino de las enseñanzas que tuve durante la escuela secundaria. Mi profesora de arquitectura en ese momento era de la "vieja escuela" y nos enseñó a usar bocetos, entendiendo el espacio a través de medidas de muebles y distancia entre objetos, también haciendo maquetas en diferentes escalas. Este método fue fundamental para que entendiera el espacio y cuando entré a la universidad ya tenía cierta inteligencia espacial.

¿Qué software(s) de diseño sueles utilizar? Nombra los principales.

Autocad, Illustrator, Photoshop, InDesign, Procreate, Rhino, Cinema4D, Corona. Se algo de SketchUp, Revit, Vray y Lumion.

¿Dónde aprendiste a usarlos?

Aprendí la mayoría de ellos de forma autodidacta durante el grado, pero debo decir que no uso el 100% de comandos y capacidades en algunos de los softwares. Alrededor de un 30%. Tuve un curso de Cinema4D y Corona fuera de la universidad que tuve que pagar.

¿Qué te enseñaron en la escuela de arquitectura? ¿En qué semestre?

Solo un poco de Revit durante el segundo semestre del máster. El

propósito era permitirnos usar la metodología Bim. Se podía hacer una elección entre Revit con Dynamo o Rhino con Grasshopper. El curso Revit y Dynamo finalizó con una sola conferencia sobre Dynamo, ya que la mayoría de los estudiantes no sabían cómo usar Revit, considerando que es un poco más complicado que Rhino. El curso de Rhino y Grasshopper terminó con los estudiantes rezando al profesor para que les permitiera aprobar el examen ya que Grasshopper era realmente complicado.

¿Qué tan dependiente eres de un ordenador cuando haces un proyecto? ¿Sueles hacer bocetos en el ordenador?

Hago bocetos a mano en papel o usando Procreate en mi iPad.

¿Alguna vez has utilizado la metodología BIM? Si es así, ¿cómo y con qué software?

Dejando de lado el curso de Revit con Dynamo que expliqué antes, no tengo otra experiencia en usarlos y, en general, ni siquiera estoy interesado en aprenderlos. Me gusta más el diseño gráfico, el diseño de escenarios y el interiorismo, así que supongo que realmente no los usaré.

¿Produces renders arquitectónicos? ¿Qué tan hábil eres?

Asistí a un taller intensivo de una semana para aprender Cinema4D y Corona, para así mejorar mis habilidades de renderizado. Antes usaba Rhino, Lumion y mucho Photoshop, así que hacía más collages.

¿Qué motor de renderizado utilizas? ¿Dónde aprendiste a usarlo?

Uso Corona y aprendí a usarlo con un curso privado de pago.

¿Puedes decirme la diferencia entre BIM y diseño con Revit/ ArchiCAD/Allplan?

No sé si esta respuesta será correcta, pero en general BIM son softwares que permiten tener un control general de más información de la parte de diseño (arquitectura e ingeniería) y también permite gestionar todos los problemas relacionados simultáneamente. Revit y Archicad son softwares conectados con BIM que te permiten para modelar todo lo que necesita, desde el propio edificio hasta los sistemas técnicos. Nunca he oído hablar de Allplan.

¿Está familiarizado con los siguientes términos?

Gemelos digitales

Simulaciones físicas y climáticas •

Sistemas de información geográfica (GIS) •

Diseño generativo

¿Crees que la práctica educativa y profesional de la arquitectura dependerá al 100% del diseño computacional? Si no es el 100%, ¿cuánto?

Desafortunadamente sí, aunque creo que estar en contacto con la realidad es fundamental para entender realmente el espacio y qué tipo de sentimientos quieres crear experimentándolo. No estoy contento de estar y pasar mi vida frente a una computadora, pero todo mi trabajo depende de ello. Entiendo las posibilidades y también la reducción de la cantidad de tiempo que utilizamos para diseñar un proyecto en comparación con el pasado, pero no estoy 100% contento con esta evolución digital. En general, espero que los futuros softwares sean cada vez más fáciles y rápidos de usar para que podamos pasar el menor tiempo posible en una pantalla.

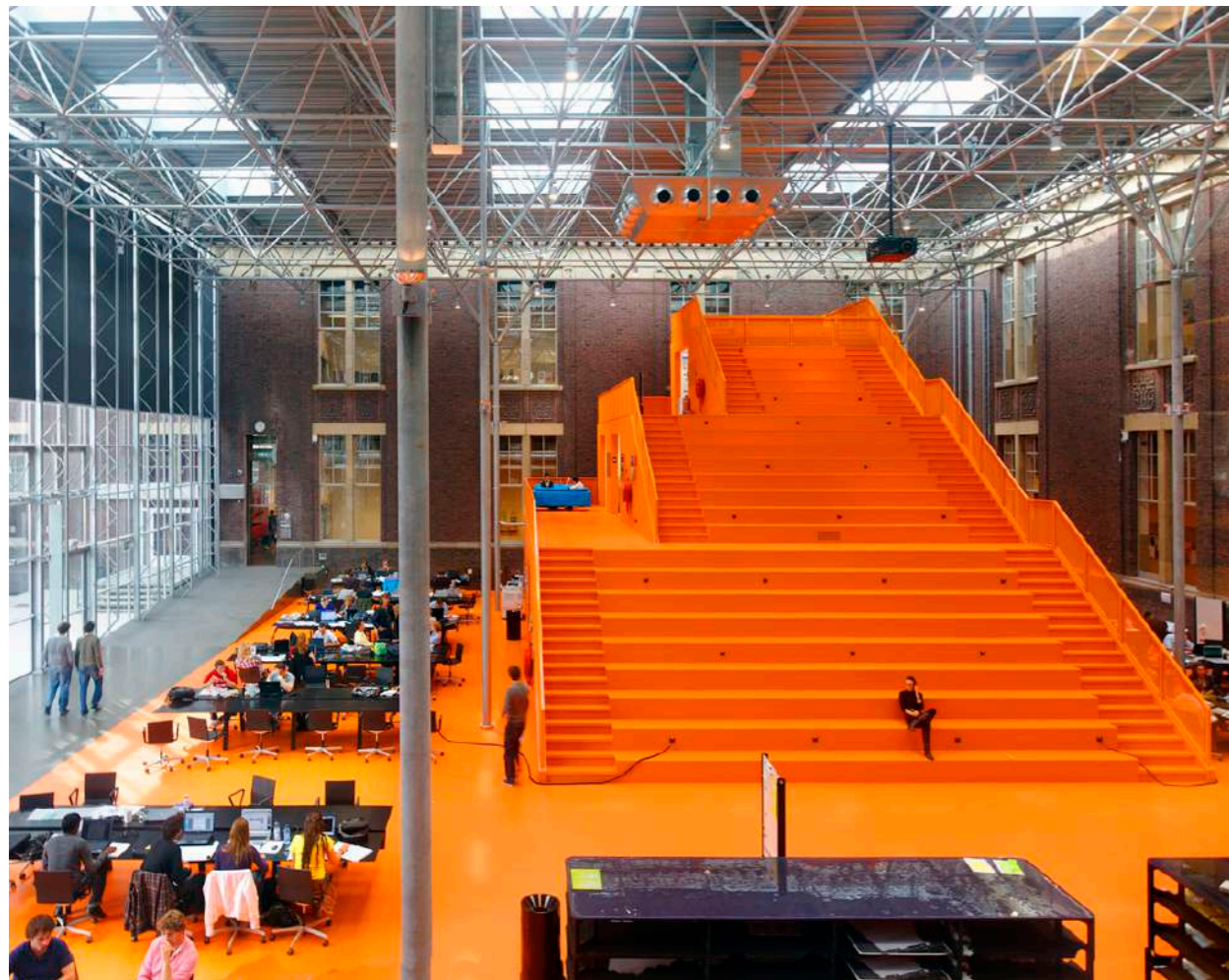


Figura 56: El espacio de la tribuna de The Why Factory dentro de la Bouwkunde en la TU Delft, diseñado por MVRDV.

3.4 TU Delft – Delft, Países Bajos

La Facultad de Arquitectura (BK Delft) de la Universidad Técnica de Delft se encuentra actualmente en la mejor posición de universidades dentro de la Unión Europea y muy arriba en los rankings mundiales.

La TU Delft, dentro de su grado en arquitectura, urbanismo y ciencias de la construcción, forma a los estudiantes durante tres años consecutivos y ofrece, posteriormente, un minor. Los estudiantes deben hacer una maestría de dos años más para habilitarse como arquitectos dentro de los Países Bajos.

La formación en Delft, como en otras partes de Europa, es corta y tiende a hacer falta la intensificación en algunas áreas de interés. Para alcanzar conocimientos en representación gráfica, la universidad ofrece un link con muchos cursos en formato de video para que los estudiantes aprendan por su cuenta. Dentro de su plan de estudios, los fundamentos gráficos se estudian dentro de la "trayectoria de aprendizaje" de representación, visualización y forma a través de las asignaturas de Espacio y forma, Estructura y detalle, y Computación de diseño performativo.

Entrevista**Nombre:** Reinis Melgalvis**Universidad:** TU Delft**Ciudad:** Delft**Inicio de estudios:** 2018**Graduación:** 2023**¿Tenías experiencia con el software de diseño computacional antes de asistir a la Escuela de arquitectura?**

En la escuela secundaria, usé Sketchup para un trabajo secundario en la oficina de arquitectura, pero desde entonces no lo he usado (tampoco en la universidad).

¿Trabajas con modelos en 3D?

Sí, prácticamente todos los días.

¿Dirías que la inteligencia espacial habría mejorado con modelos 3D?

Soy un poco parcial para responder a esta pregunta, ya que mi posición en la oficina de arquitectura es diseñador computacional y abogar por el diseño computacional (del cual los modelos 3D son

una necesidad) es algo que hago todo el tiempo. Así que sí, creo que podemos tomar decisiones mucho más informadas en nuestro proceso de diseño con tecnología computacional, y los modelos 3D es algo que permite esto.

¿Qué software(s) de diseño sueles utilizar? Nombra los principales.

Adobe (Photoshop, Illustrator, InDesign), Rhino, Lumion, Grasshopper, Revit, Dynamo.

¿Dónde aprendiste a usarlos?

Principalmente a través de mis estudios y mis prácticas, así como algunos proyectos paralelos.

¿Qué te enseñaron en la escuela de arquitectura? ¿En qué semestre?

Ninguno de los programas se enseña directamente en TU Delft. Tienes que aprender solo en el camino a través de la asignatura de proyectos, idealmente al final del primer año de la licenciatura. La escuela de arquitectura tiene videos recomendados que tienes que ver en tu tiempo libre.

¿Qué tan dependiente eres de un ordenador cuando haces un proyecto? ¿Sueles hacer bocetos en el ordenador?

Excepto por el primer boceto, hago todo lo demás en la computadora. Trabajo con Grasshopper casi a diario para casi todo, desde estudios ambientales hasta simplemente manipular geometría, pero también hago estudios de diseño generativo para estacionamientos y vecindarios urbanos.

¿Alguna vez has utilizado la metodología BIM? Si es así, ¿cómo y con qué software?

He usado Revit para mis proyectos en la universidad, pero dado que uno de los principales beneficios de BIM es la colaboración, realmente solo he experimentado esto en mi pasantía en MVSA.

¿Produces renders arquitectónicos? ¿Qué tan hábil eres?

En el pasado he producido algunos renders arquitectónicos con un uso mixto de Lumion y mucho Photoshop. Mis habilidades en esto son promedio.

¿Qué motor de renderizado utilizas? ¿Dónde aprendiste a usarlo?

Usé Lumion y lo mismo que para cualquier otro software, lo

aprendí en mi propio tiempo de los videos. Aunque Lumion es extremadamente intuitivo y fácil de usar.

¿Qué tan familiarizado estás con el diseño paramétrico con Grasshopper, Dynamo (Revit) o similar?

Como dije antes, lo llevo utilizando mucho. Tengo alrededor de 2 años de experiencia en Grasshopper y en promedio lo uso alrededor de 15 horas a la semana. Empecé con Dynamo este septiembre y tengo alrededor de 250 horas de experiencia en él.

¿Qué formación tienes en software de diseño paramétrico?

No tengo ninguna formación académica. Acabo de comenzar a usar Grasshopper durante una pasantía para hacer varias herramientas que propuse y ahorrarles ahorrarían tiempo. Lo que sé, lo aprendí haciendo y simplemente leyendo publicaciones en foros en Internet.

¿Puedes decirme la diferencia entre BIM y diseño con Revit/ArchiCAD/Allplan?

BIM es un proceso de diseño estandarizado para compartir mejor la información necesaria sobre los materiales de construcción utilizados, su ensamblaje y más. Revit y ArchiCAD son softwares

que permiten BIM en la práctica, pero su uso en el diseño no significa necesariamente que lo esté haciendo de acuerdo con los estándares BIM.

¿Alguna vez has utilizado la inteligencia artificial para el diseño arquitectónico? Si es así, ¿cómo lo hiciste?

No, nunca. Creo que la industria de la arquitectura aún está lejos de implementarlo con éxito, ya que incluso el diseño computacional todavía se considera algo bastante nuevo. Tal vez muy pronto podríamos usar el machine learning para hacer diseños más funcionales.

¿Está familiarizado con los siguientes términos?

- Gemelos digitales •
- Simulaciones físicas y climáticas •
- Sistemas de información geográfica (GIS) •
- Diseño generativo •

¿Crees que la práctica educativa y profesional de la arquitectura dependerá al 100% del diseño computacional? Si no es el 100%, ¿cuánto?

Eventualmente sí. Pero desde mi experiencia, la gente sigue

siendo muy escéptica al respecto. Creo que antes de usarlo más, necesitamos tener una comprensión más clara de lo que es el diseño computacional y ser conscientes de que no solo se usa para generar fachadas orgánicas formadas como Zaha Hadid Architects, sino que se puede usar para hacer herramientas para todo. Esperemos que pronto se utilice en todos los proyectos.



Figura 57: Puertas Abiertas de la ETSAM en Matadero.

Conclusión

Hoy en día, el diseño digital parece ser un fenómeno dominante. Desde los años sesenta el cambio ha sido exponencial. Como arquitectos, nos es difícil asimilar la arquitectura sin su parte digital. De esta manera, la teoría del diseño digital tiende a adquirir una presencia importante en el discurso académico actual con diversas líneas de investigación. Esto ha ocurrido con el fin de crear las bases teóricas de nuevos procesos de diseño que, a su vez, están transformando los modelos de educación tradicionales, así como los proyectos arquitectónicos en sí.

Junto con los desarrollos tecnológicos, los cimientos de la educación arquitectónica parecen necesitar un cambio estructural más ambicioso. La propuesta que se viene haciendo en el contexto universitario aborda la necesidad de formar expertos con fundamentos técnicos y digitales para facilitar el proceso de aprendizaje arquitectónico con mayor rendimiento.

La dirección de cada universidad que enseña arquitectura suele depender más de las unidades docentes o líneas de investigación que de la propia institución. Es necesario remarcar que las universidades elegidas en los casos de estudios son públicas, y muchas veces el tema presupuestario es una frontera. Sin embargo, esto no quiere decir que en otros contextos se produzcan mejores o peores dibujos arquitectónicos, planos o renders.

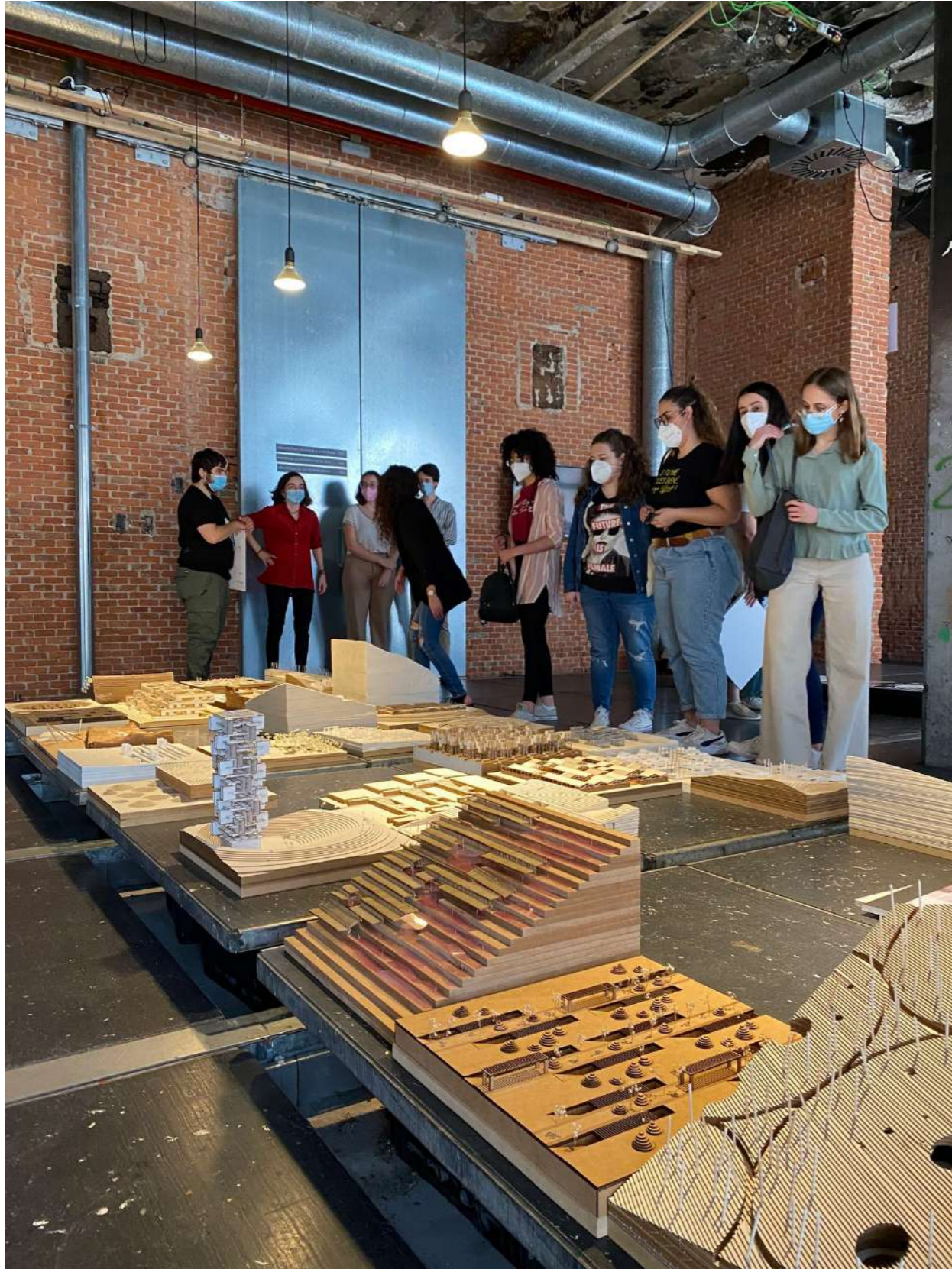


Como estudiantes y educadores, debemos evitar dar las cosas por hecho. En palabras de Mario Carpo, el proceso de digitalización de la arquitectura y su representación gráfica ha dado muchos giros desde hace más de sesenta años gracias a determinados científicos, investigadores y arquitectos. Es ineludible que lo siga haciendo; saber qué pasará dentro de otros sesenta años es imposible, pero tener presente que debemos estar actualizados, inevitable.

El desafío pedagógico en la arquitectura digital va más allá de la simple enseñanza de los softwares y sus aplicaciones. La arquitectura no es una carrera de poco coste. Esto no es solo por los precios de materiales de dibujo o maquetas, o por las constantes impresiones; sino porque requiere un hardware potente para hacer uso de softwares determinados.

Visto en los casos de estudios, los estudiantes de las cuatro universidades elegidas pueden estar, en mayor o menor medida, adaptados a un proceso digital al hacer arquitectura. Evidentemente, cada caso lo representa una única persona, por lo que no se puede hacer generalizaciones. Sin embargo, esto nos sirve como pantallazo en el contexto europeo. Podemos afirmar, tanto por las entrevistas como por experiencias propias, que Alemania se diferencia bastante de los otros casos de estudio al utilizar los programas de la alemana Nemetschek, como ArchiCAD

Figura 58: Puertas Abiertas de la ETSAM en Matadero.



o Vectorworks. Luego existen las constantes de Autodesk o Rhino y otros que cambian esporádicamente como los motores de renderizado o softwares más específicos.

Debido a estos cambios tan importantes, desde el CAD hasta los últimos avances con inteligencia artificial, es fundamental que el proceso enseñanza-aprendizaje siga innovando, reinventándose e integrando la tecnología cada vez más y mejor en la formación de las futuras generaciones. Esta retrospectiva sobre la digitalización en la arquitectura también es un análisis del presente y una mirada al futuro dinámico de estos procesos. Como arquitectos debemos saber discernir que es un progreso que no debe anular formas tradicionales de expresión gráfica y que, de ninguna manera, un diseño digital eclipsaría un buen dibujo a mano alzada.

Figura 59: Puertas Abiertas de la ETSAM en Matadero.

Bibliografía

Autodesk (2002), "Building Information Modeling, White Paper"

Cadoso Llach, D. (2015) "Builders of the vision: Software and the imagination of design", Londres: Routledge

Carpo, M. (2011), "The alphabet and the algorithm", Cambridge, MA: MIT Press

Carpo, M. (2017) "The second digital turn. Design beyond intelligence", Cambridge, MA: MIT Press

Chaillou, S. (2022) "Artificial intelligence and architecture. From research to practice", Basilea: Birkhäuser.

Colquhoun, A. (1989), "Modernity and the classical tradition", Cambridge, MA: MIT Press

Fankhänel, T. y Lepik, A. (ed.) (2020) "Die Architekturmaschine. Die Rolle des Computers in der Architektur", München: Birkhäuser

Hardingham, S. (2016), "Cedric Price works 1952-2003, a forward-minded retrospective", Londres: AA Publications

Meister, A. (2020), "Paper(less) architecture: Medial and institutional superimpositions", en Fankhänel, T. y Lepik, A.

(ed.), "Die Architekturmaschine. Die Rolle des Computers in der Architektur", Múnich: Birkhäuser

Moretti, L. (1968), "Parametrica architettura", Dizionario enciclopedico di architettura e urbanistica, Roma: Istituto Editoriale Romano

Narayanan, D. (2006), "Gehry Technologies, a Case Study". Disponible en: http://alumni.media.mit.edu/~tmcleish/arch497_DDF/Research/Narayanan,%20Deepa.%20%20Gehry%20Technologies.pdf. Consultado el 03.12.2022.

Negroponte, N. (1970), "The architecture machine", Cambridge, MA: MIT Press

Negroponte, N. (1995), "Being digital", Nueva York, NY: Knopf

Oxman, R. (2008) "Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium". Disponible en: https://www.academia.edu/1846590/Digital_architecture_as_a_challenge_for_design_pedagogy_theory_knowledge_models_and_medium. Consultado el 14.11.2022.

Rutten, D. (2010), "Computing Architectural Concepts: Grasshopper Stories", Conferencia en la Architectural Association de Londres

Schumacher, P. (2009), "Parametricism: A new global style for architecture and urban design", AD Architectural Design – Digital Cities, Vol 79, N° 4

Sutherland, I. (1964), "Sketchpad: A man-machine graphical communication system", Simulation, 2(5)

Tagliabue, B. (2011), "Conversando con Benedetta Tagliabue", Valencia: EGA - Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica

Vardouli, T. y Toulomini, O. (2020) "Computer architectures: constructing the common ground", Nueva York, NY: Routledge

Velandia Rayo, D.A. (2009) "TIC's y los procesos de enseñanza-aprendizaje en arquitectura," Dearquitectura, 5(5), pp. 166-175. Disponible en: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/epdf/10.18389/dearq5.2009.16>. Consultado el 10.12.2022.

Wright Steenson, M. (2017) "Architectural intelligence. How designers and architects created the digital landscape", Cambridge, MA: MIT Press

Wright Steenson, M. (2020), "Creativity and problem-solving: Tracing the stakes of computer-aided design", en Fankhänel, T. y Lepik, A. (ed.), "Die Architekturmaschine. Die Rolle des Computers in der Architektur", Múnich: Birkhäuser

Yilmaz, S. et al. (2017), "Examining the academic success of the students in drawing techniques course: the case of freshmen in landscape architecture". Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319130232_Examining_the_Academic_Success_of_the_Students_in_Drawing_Techniques_Course_The_Case_of_Freshmen_in_Landscape_Architecture. Consultado el 04.12.2022.

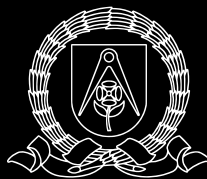
Anexos

Crédito de las imágenes

- Portada: SHoP Architects (2000), Dunescape. Disponible en: <https://www.architekturmuseum.de/ausstellungen/die-architekturmaschine/>. Consultado el 21.09.2022.
1. Dafni, F. (2020), "Fluid Strata". Disponible en: <https://www.archdaily.com/972762/meet-the-winners-of-the-2021-architecture-drawing-prize>. Consultado el: 10.12.2022.
 2. Frazer, J. (1970), "Reptile flexible enclosure system". Disponible en: <https://www.architekturmuseum.de/ausstellungen/die-architekturmaschine/>. Consultado el 11.11.2022.
 3. Castillo Tello, S. (2022). Curso de FTP, Miautics.
 4. Kempff, J. I. (2022), Collage de portadas.
 5. Castillo Tello, S. (2022) Curso de FTP, Miautics.
 6. Castillo Tello, S. (2022) Curso de PVI, Miautics.
 7. Castillo Tello, S. (2022) Curso de PVI, Miautics.
 8. 123 Architects (2019), "Masquerade". Disponible en: <https://www.123architects.info/masquerade>. Consultado en: 11.12.2022.
 9. Cupkova, D. (2017), "Indeterminate set 003". Disponible en: <http://www.epiphyte-lab.com/indeterminate-set>. Consultado el: 08.11.2022.
 10. Junge, R. (n.d.), Colección de diapositivas de la TUM, Disponible en: <https://www.architekturmuseum.de/ausstellungen/die-architekturmaschine/>. Consultado el 11.11.2022.
 11. Pantheon, "Pierre Bézier". Disponible en: https://pantheon.world/profile/person/Pierre_Bezier/. Consultado el 08.12.2022.
 12. Proyecto IDIS, "Ivan Sutherland". Disponible en: <https://proyectoidis.org/ivan-sutherland/>. Consultado el 11.12.2022.
 13. Rajotte, J. (2019), "Nicholas Negroponte: «Siempre he animado a la gente a no

- ser realista", El País. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2019/02/11/eps/1549900919_734335.html. Consultado el: 11.12.2022.
14. Wikipedia, "Bézier surface", Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Bézier_surface. Consultado el 22.11.2022.
 15. Kempff, J. I. (2022), Interfaz de AutoCAD.
 16. Kempff, J. I. (2022), Interfaz de Vectorworks.
 17. Castillo Tello, S. (2022) Curso de FTP, Miautics.
 18. Fuentes, G. A. (2021), Centro comunitario Ciudad Vieja. Disponible en: <https://issuu.com/gafuent/docs/tfc-gaf>. Consultado el 14.12.2022.
 19. Fuentes, G. A. (2021), Centro comunitario Ciudad Vieja. Disponible en: <https://issuu.com/gafuent/docs/tfc-gaf>. Consultado el 14.12.2022.
 20. Autodesk, Inc. (2022), "Funciones clave de Revit". Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/revit/features>. Consultado el 05.01.2023.
 21. 3D Printing Media Network, "Intefaz de Grasshopper". Disponible en: <https://parametric-architecture.com/grasshopper-3d-a-modeling-software-redefining-the-design-process/>. Consultado el 10.11.2022.
 22. Dezeen, "Entrevista a Patrik Schumacher". Disponible en: <https://www.dezeen.com/2019/03/29/patrik-schumacher-interview-zaha-hadid-architects/>. Consultado el: 22.11.2022.
 23. Schumacher, P. (2008) "*Parametricism - a new global style for architecture and urban design*". Disponible en: <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20-%20A%20New%20Global%20Style%20for%20Architecture%20and%20Urban%20Design.html>. Consultado el 04.11.2022.
 24. Kempff, J. I. (2022), Simulaciones bioclimáticas con Grasshopper y Rhino.
 25. Kempff, J. I. (2017), Modelado con Revit.
 26. Autodesk, Inc. (2021), "*Revit 2022: Link Rhinoceros 3DM Files*", YouTube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=UwEb2NZl-ul>. Consultado el: 05.01.2023.
 27. Spacemaker de Autodesk, Inc. (n.d.), Interfaz de Spacemaker. Disponible en: <https://www.archdaily.com/952850/spacemaker-proposes-ai-powered-generative-design-to-create-more-sustainable-spaces-and-cities>. Consultado el 21.12.2022.
 28. EPFL (2020), "AI & Architecture: Towards a New Approach". Disponible en: <https://memento.epfl.ch/event/ai-architecture-towards-a-new-approach/>. Consultado el: 05.01.2023.
 29. Kempff, J. I. (2022), Modelos digitales con DALL-E de OpenAI.
 30. Chaillou, S. (2019) "*AI + Architecture*". Disponible en: <https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture>. Consultado el: 14.10.2022.
 31. Kempff, J. I. (2022), Modelos digitales con DALL-E de OpenAI.
 32. RIBA Collections (n.d.), Cedric Price. Disponible en: <https://hub.salford.ac.uk/modern-salford/2022/12/23/shelagh-delaney-and-cedric-price-are-you-with-me/>. Consultado el 14.11.2022.
 33. XL Lab SWA Group (2019) "*Plaza life revisited*". Disponible en: <https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture>. Consultado el: 14.10.2022.
 34. Covetool (2020), Interfaz de Covetool. Disponible en: <https://community.osarch.org/discussion/142/environmental-analysis-with-covetool>. Consultado el 22.12.2022.
 35. Archistar (n.d.), "*Archistar Property Insights*", Disponible en: <https://www.archistar.ai/homepage/>. Consultado el 05.01.2023.
 36. Castillo Tello, S. (2022) Curso de PVI, Miautics.
 37. Case Western Reserve University Archives (1960), Melvin Kranzberg. Disponible en: <https://www.reasonwhy.es/actualidad/tecnologia/las-6-leyes-de-la-tecnologia-que-ya-deberias-conocer-2018-02-15>. Consultado el 22.12.2022.
 38. Blog de la Unión (2022), "La vida antes de AutoCAD", Twitter. Disponible en: <https://twitter.com/blogdelaunion/status/1493598556132884495>. Consultado el 07.12.2022.
 39. Koolhaas, R. y Vriesendorp, M. (1972), "The city of the captive globe". Disponible en: <https://www.pinterest.it/pin/457889487111265215/>. Consultado el 26.12.2022.
 40. Supra Order (2021), Serie retrospectiva Pezo von Ellrichshausen. Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/962918/supra-order-estamos-convencidos-de-que-la-arquitectura-es-universal-y-posee-un-lenguaje-propio>. Consultado el 12.12.2022.
 41. Bjarke Ingels Group (2003), VM houses. Disponible en: <https://arquitecturaviva.com/works/bloque-de-viviendas-vm-7>. Consultado el 27.12.2022.
 42. Servomechanism Laboratory at MIT (1958), reconstrucción de un dibujo original producido por Whirlwind Computer usando el programa APT II y APT III. Disponible en: <http://grahamfoundation.org/grantees/5577-designing-the-computational-image-imagining-computational-design>. Consultado el 15.12.2022.
 43. Assini, D. (2017), " Re-imagination of the HS2". Disponible en: <https://www.dezeen.com/2017/07/30/bartlett-student-damien-assini-graduate-project->

- reimagination-hs2-railway-zero-carbon-towns/. Consultado el 06.11.2022.
44. Castillo Tello, S. (2022) Curso de PVI, Miautics.
 45. Trienal de Milán (1951), Le Corbusier esboza El Modulor. Disponible en: <https://editorialfau.wordpress.com/2020/06/27/dibujo-y-proceso/>. Consultado el 22.12.2022.
 46. Kempff J. I. (2022), Interfaz de trabajo en Rhino y Grasshopper.
 47. Roberts, L. G. (1963), "Machine perception of three-dimensional solids", Cambridge, MA: Massachussetts Insitute of Technology. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/220695992_Machine_Perception_of_Three-Dimensional_Solids. Consultado el 27.12.2022.
 48. Tagliabue, B. (n.d.), Benedetta Tagliabue. Disponible en: <https://undiaunaarquitecta.wordpress.com/2015/11/18/benedetta-tagliabue-1963/>. Consultado el 21.12.2022.
 49. Auburn University College of Architecture Archives (n.d.). Disponible en: <https://www.archdaily.com/888190/architectural-education-is-it-actually-preparing-our-students-for-the-future>. Consultado el 26.12.2022.
 50. Quach, M. (2016), "Sapphire City". Disponible en: <https://www.architectsjournal.co.uk/practice/students/how-does-the-bartletts-rich-research-inform-the-schools-design-output>. Consultado el 27.12.2022.
 51. Medina Manzano, I. (2020), "PROT/MAD_[VN+CL+NN]XX.X". Disponible en: <https://archive.dpa-etsam.com/projects/protmad-vnclnxxx>. Consultado el 27.12.2022.
 52. Kempff, J. I. (2022), Collage con logos de universidades elegidas para el estudio. Cada ícono pertenece a la universidad que representa.
 53. Deplazes, A. (2021) "*Seminarwoche Barcelona*". Disponible en: <https://www.deplazes.arch.ethz.ch/article/HS2021-Barcelona>. Consultado el 09.12.2022.
 54. TUM, "*Über die TUM – Organisation*". Disponible en: <https://www.tum.de/ueber-die-tum/organisation>. Consultado el: 11.12.2022.
 55. RPBW (2022), "*Politecnico di Milano*". Disponible en: <https://www.theplan.it/eng/architecture/an-open-international-cutting-edge-urban-campus>. Consultado el 11.12.2022.
 56. Hart, R. (2009), "*The Why Factory, MVRDV*". Disponible en: <https://archello.com/project/bk-city>. Consultado el 11.12.2022.
 57. Fernández, I. y Cáceres J. en Díez D. (2020), " El futuro de la arquitectura es ahora y se exhibe en Matadero Madrid", Madrid: El País. Disponible en: <https://elpais.com/icon-design/arquitectura/2021-05-28/el-futuro-de-la-arquitectura-es-ahora-y-se-exhibe-en-matadero-madrid.html>. Consultado el 28.12.2022.
 58. Fernández, I. y Cáceres J. en Díez D. (2020), " El futuro de la arquitectura es ahora y se exhibe en Matadero Madrid", Madrid: El País. Disponible en: <https://elpais.com/icon-design/arquitectura/2021-05-28/el-futuro-de-la-arquitectura-es-ahora-y-se-exhibe-en-matadero-madrid.html>. Consultado el 28.12.2022.
 59. Fernández, I. y Cáceres J. en Díez D. (2020), " El futuro de la arquitectura es ahora y se exhibe en Matadero Madrid", Madrid: El País. Disponible en: <https://elpais.com/icon-design/arquitectura/2021-05-28/el-futuro-de-la-arquitectura-es-ahora-y-se-exhibe-en-matadero-madrid.html>. Consultado el 28.12.2022.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID