

Artículo de Investigación

Integración entre Inteligencia Artificial, diseño y enseñanza de Arquitectura y Urbanismo: el caso de Forma Autodesk

Integration between Artificial Intelligence, design and teaching of Architecture and Urbanism: the case of Forma Autodesk

Autores:

Carlos Quedas Campoy¹, Amanda Maria Rabelo Souza², Cleide Izidoro³, Raul Emanuel Scanavino⁴

¹Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil, prof.carloscampoy@usjt.br,
<https://orcid.org/0000-0002-2692-6237>

²Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil, amanda.rabelo@ulife.com.br,
<https://orcid.org/0000-0003-1536-7668>

³Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil, cleide.izidoro@ulife.com.br,
<https://orcid.org/0009-0002-6089-8062>

⁴Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil, 825160020@ulife.com.br,
<https://orcid.org/0009-0005-9202-6455>

Autor de Correspondencia: Carlos Quedas Campoy, arqcampoy77@gmail.com

Reception: 11-February-2025 **Acceptance:** 15-March-2025 **Published:** 25-April-2025

Como citar este artículo:

Quedas Campoy, C., Maria Rabelo Souza, A., Izidoro, C., & Emanuel Scanavino, R. (2025). Integración entre Inteligencia Artificial, diseño y enseñanza de Arquitectura Y Urbanismo: el caso de Forma Autodesk. Sapiens International Multidisciplinary Journal, 2(2), 1-20. <https://doi.org/10.71068/ackzqp74>

Resumen

Este artículo presenta los resultados parciales de un proyecto de investigación, en curso, que aproxima los campos de la informática aplicada, mediante la inteligencia artificial analítica, al proceso de proyecto, enfocándose en la etapa de partido arquitectónico volumétrico e inserción en el lote, y en la enseñanza de Arquitectura y Urbanismo. El objetivo fue estructurar una metodología capaz de auxiliar en el aprendizaje de la Arquitectura y el Urbanismo, asistido por flujos de información, métodos y técnicas computacionales activas, para el análisis y la generación de alternativas arquitectónicas. Se fundamentó en el pensamiento algorítmico de proyecto, inspirado en la Dinámica de la Información Algorítmica, comprendido como un proceso estructurado que implica la formulación de principios orientadores, la parametrización de variables y la interacción entre el arquitecto y las herramientas computacionales. La investigación propuso estudios analíticos realizados en conjunto con el computador, concebido como un socio activo del arquitecto en el proceso de toma de decisiones. La inteligencia artificial analítica fue desarrollada mediante el software Forma Autodesk, que permitió la evaluación de condicionantes ambientales y funcionales, la simulación de diferentes escenarios proyectuales y la exploración de soluciones geométricas plausibles para cada contexto. Los resultados alcanzados hasta el momento evidenciaron la importancia didáctica e inventiva de este pensamiento en términos teóricos y tecnológicos, contribuyendo a la sistematización de metodologías computacionales aplicadas al desarrollo de proyectos, especialmente en el contexto de la enseñanza de arquitectura.

Palabras clave: Arquitectura; Inteligencia artificial; Enseñanza; Metodología; Proyecto

Abstract

This paper presents the partial results of an ongoing research project that brings together the fields of applied informatics, through analytical artificial intelligence, architectural design, focusing on the stage of volumetric architectural parti and site insertion, and the teaching of Architecture and Urbanism. The objective was to structure a methodology capable of assisting the learning of Architecture and Urbanism through information flows, methods, and active computational techniques for the analysis and generation of architectural alternatives. It was based on the Algorithmic Design Thinking, inspired by the Algorithmic Information Dynamics, understood as a structured process that involves the formulation of guiding principles, the parameterization of variables, and the interaction between the architect and computational tools. The research proposed analytical studies carried out in collaboration with the computer, conceptualizing it as an active partner in the decision-making process. The analytical artificial intelligence was developed using Autodesk Forma software, which enabled the evaluation of environmental and functional constraints, the simulation of different design scenarios, and the exploration of plausible geometric solutions for each context. The results achieved so far have highlighted the didactic and inventive relevance of this approach in theoretical and technological terms, contributing to the systematization of computational methodologies applied to project development, especially within the context of architectural education.

Keywords: Architecture; Artificial Intelligence; Education; Methodology; Design

1. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico ha catalizado considerables transformaciones en el campo de la Arquitectura, reformulando “paradigmas” (Kuhn, 2012, p. 60) y redefiniendo las posibilidades metodológicas relativas al proceso proyectual (Bernstein, 2022). La incorporación de dispositivos computacionales en las etapas de la concepción arquitectónica ha propiciado, de manera directa o indirecta, el desarrollo de nuevos métodos y herramientas, ampliando el alcance de la exploración formal y la optimización de soluciones espaciales plausibles (Leach, 2022). En este contexto, se asume que la enseñanza y el aprendizaje pueden beneficiarse de estos procesos digitales, como también demandan actualizaciones metodológicas para integrar los enfoques emergentes y capacitar a los futuros arquitectos para operar, de manera crítica, con herramientas computacionales avanzadas.

Entre tales enfoques digitales, se destaca la sinergia entre inteligencia artificial analítica y simulaciones, posibilitando la formulación de configuraciones arquitectónicas fundamentadas en condicionantes ambientales, estructurales y funcionales (Campo, 2022). Ante los cambios climáticos y eventos extremos, la cuestión de la sostenibilidad ambiental se ha convertido en una agenda más que necesaria, urgente, dentro y fuera de la academia (Cornwell, 2024; Edwards, 2004; Maes, 2024; McDonough, 2024). Además, se observa un amplio y creciente interés en la investigación de principios derivados de factores tecnológicos y ambientales, lo que tiende a favorecer una relación más eficiente entre materialidad y desempeño (Batista, 2024; Grunow, 2023; Kolarevic & Malkawi, 2005; Redação CAU/SP, 2024).

La convergencia entre estas prácticas proyectuales mediadas computacionalmente, incluidas las modelaciones paramétricas, ha conducido a los estudios de geometrías distintas, como posibilidades. Estas no deberían restringirse puramente a criterios de orden estético, sino que principalmente deben revelar una doble condición. Además de ser soluciones espaciales adaptativas a un determinado contexto, originadas de la interacción dinámica entre sistemas digitales y procesos “heurísticos” (Lawson, 2011), las geometrías revelan condiciones para revisitar la propia metodología proyectiva aplicada, desde un punto de vista de meta-análisis.

Ante este panorama, la formación de los futuros arquitectos enfrenta el desafío de incorporar metodologías computacionales, viabilizando la adquisición de competencias que permitan la comprensión y la operacionalización de estas herramientas con discernimiento crítico e inventivo.

Este artículo presenta los resultados parciales de un proyecto de investigación, en curso, que busca estrechar la intersección entre los campos de la informática aplicada, mediante la inteligencia artificial analítica, y de la enseñanza de Arquitectura y Urbanismo, con énfasis en la etapa inicial de formulaciones de partidos arquitectónicos volumétricos y sus respectivas inserciones en los lotes. La atención a esas fases iniciales del proceso de proyecto se justifica por entenderse que abarcan grandes posibilidades exploratorias

formales, especialmente impulsadas por el aparato tecnológico mencionado, en conjunto con simulaciones de los ambientes “morfológicos” (Quaroni, 1987, p. 63), buscando soluciones espaciales plausibles.

La investigación se apropia de la inteligencia artificial mediante el software Forma Autodesk, que se establece como una plataforma digital capaz de viabilizar el análisis paramétrico de alternativas proyectuales, en conjunto con la evaluación de condicionantes ambientales georreferenciadas. La validación de soluciones geométricas también cuenta con modelos de simulación fisiológica, que devuelven datos sobre sensación térmica y confort ante las acciones de la luz solar y los vientos, importantes para configuraciones de ambientes internos y externos, así como ciertas actividades laborales o de ocio. Otras funcionalidades del software serán comentadas posteriormente.

Los procedimientos adoptados se anclan en el pensamiento algorítmico de proyecto (Aragno, 2023; Oxman, 2017), inspirado en la Dinámica de la Información Algorítmica (Ames & Mazzotti, 2023; Zenil et al., 2020). Estos aspectos serán mejor explicados en otra sección. Por ahora, se destaca que funcionan como un marco estructurado para la parametrización de variables, formulación de principios orientadores y establecimiento de una interacción mutable, variable o alterable entre el arquitecto y los dispositivos computacionales.

El objetivo general del estudio consiste en evidenciar el potencial de estas tecnologías en el ámbito de la enseñanza, trascendiendo la dimensión meramente representacional para investigar sus impactos inventivos, funcionales, espaciales y cualitativos en los estudios y en las soluciones arquitectónicas.

El objetivo específico está dirigido a estructurar una metodología orientada a la enseñanza de Arquitectura, como principios orientadores, basada en el pensamiento algorítmico de proyecto, especialmente bajo la luz de la Dinámica de la Información Algorítmica. Se centra en los estudios de partidos arquitectónicos volumétricos y sus respectivas inserciones en los lotes, con fuertes condicionantes relativos a la sostenibilidad ambiental, buscando eficiencia en el desarrollo de formas. En términos digitales, se emplea, como un vector, la inteligencia artificial analítica del software Forma Autodesk y la parametrización de variables de proyecto y ambientales, así como algunas simulaciones. Sobre todo, se procura contribuir a la construcción del pensamiento heurístico y a algunas tomas de decisiones preliminares en el proyecto arquitectónico, con una mirada comprensiva crítica e inventiva, posicionando al computador como un socio activo para el estudiante.

2. DESARROLLO

La presente investigación reconoce la aplicación de herramientas computacionales de inteligencia artificial en el campo de la Arquitectura, con mayor énfasis a partir de los años 2000, aunque tales tecnologías ya tenían sus orígenes delineados a mediados del

siglo XX. Arquitectos y estudios de arquitectura, como Peter Eisenman, Greg Lynn, Morphosis, Winka Dubbeldam, Marcos Novak, Un Studio, Foster and Partners, Zaha Hadid (Bernstein, 2022; Chaillou, 2022; Dollens, 2005; Zellner, 1999), entre otros, han estudiado y desarrollado procesos digitales interesantes desde hace casi treinta años.

En términos ampliados para la disciplina, se hace evidente el intento de consolidación de determinados principios inventivos y de desempeño. Sin embargo, en recortes locales, se tiene conciencia de que el alcance está condicionado por cuestiones que implican acceso a la tecnología y a la capacitación profesional. Además, se identifica la relación intrínseca entre procesos y formas, en la que los instrumentos dejan marcas en los artefactos (Corona Martínez, 2000), pero dependen de variables contextuales para su viabilidad técnica y constructiva.

Se constata que el enfoque proyectual viene evolucionando hacia la incorporación de estrategias generativas y analíticas, mediante técnicas computacionales avanzadas, más allá de aquellas meramente representacionales. La transformación en la manera de concebir el proyecto refleja un cuestionamiento progresivo sobre la capacidad de la arquitectura de responder, de manera efectiva y dinámica, a las demandas sociales, económicas, productivas y ambientales contemporáneas. El avance tecnológico propicia nuevas metodologías, posibilitando la integración de múltiples parámetros de forma recursiva e iterativa en el proceso inventivo y analítico (Bernstein, 2022; Campo, 2022; Chaillou, 2022; Leach, 2022). Así, se alcanza una consonancia con algunos enfoques metodológicos tradicionales del proceso de diseño arquitectónico, que tiende a evolucionar de forma cíclica y en espiral ascendente (Cross, 2011; Lawson, 2011).

La intensificación del consumo energético y sus respectivos impactos ambientales, derivados también de la urbanización acelerada, impulsan la necesidad urgente de una reconfiguración de los enfoques proyectuales (Cornwell, 2024; Edwards, 2004; Maes, 2024; McDonough, 2024). En este escenario, las certificaciones verdes se entienden como parámetros de excelencia proyectual, así como de regulación basada en evidencias empíricas. Tales condiciones han sido evaluadas previamente mediante simulaciones algorítmico-paramétricas en softwares específicos, que sirven como apoyo para la toma de decisiones proyectuales. En este sentido, la máquina deja de ser un mero instrumento pasivo, para convertirse en un componente relevante del acto proyectual y normativo.

El diseño paramétrico y la inteligencia artificial analítica emergen, por lo tanto, como instrumentos activos y estructurantes para la formulación metodológica de soluciones proyectuales que respondan simultáneamente a las múltiples variables contenidas en los ámbitos comentados hasta este punto, viabilizando la experimentación de configuraciones geométricas ajustadas a condicionantes específicos. El empleo de softwares, como el Forma Autodesk, posibilita el análisis integrado de alternativas proyectuales, considerando factores como radiación solar, ventilación, potencial de luz diurna y eficiencia energética, desde las etapas iniciales del proceso de concepción. De este modo, las tecnologías computacionales no solo optimizan la exploración formal, sino que también amplían la capacidad del arquitecto para fundamentar algorítmicamente sus

decisiones en la intersección entre forma, materialidad y desempeño ambiental. El computador tiene potencial para convertirse en un “socio” (Dollens, 2002, p. 95; Zellner, 1999, p. 14) activo del arquitecto.

Tal enfoque impone la necesidad de una reformulación de los contenidos pedagógicos en la enseñanza de Arquitectura y Urbanismo, con vistas a la capacitación de los futuros profesionales para el dominio crítico e inventivo de estas herramientas. Se ha notado que la inserción de herramientas computacionales en la enseñanza permite una comprensión ampliada de las relaciones entre geometría, desempeño y contexto ambiental, promoviendo una formación alineada con las exigencias contemporáneas del campo proyectual. Además, son un soporte importante para que los estudiantes comprendan el sentido de una metodología, desde una perspectiva objetiva y práctica.

El pensamiento algorítmico de proyecto revela, en principio, un contenido teórico y conceptual de difícil aprehensión para estudiantes de Arquitectura y Urbanismo, precisamente porque aparenta demandar cierto grado de profundización en los estudios de Matemáticas y Ciencias de la Computación. Sin embargo, desde una orientación docente, se percibe que este marco puede ser seguido y construido intuitivamente por los estudiantes mediante actividades prácticas, desde que comprendan qué es una metodología aplicada, así como a partir de la comprensión del flujo de datos e informaciones presentes en un programa de necesidades hasta la fase de emergencia de alguna espacialización. Es decir, se promueve una aproximación adaptativa entre campos disciplinares, cuyas profundidades son distintas, pero con áreas de articulación y superposición entre ellas.

De esta manera, se ha logrado acercar los campos del conocimiento, facilitado por los instrumentos (activos o socios) digitales. Los estudiantes se ocupan más del tratamiento paramétrico y analítico de los datos e informaciones en conjunto con la comprensión crítica de algunas alternativas plausibles – conforme a un ambiente morfológico simulado computacionalmente –, que de dibujos abstractos o modelados tridimensionales desvinculados de las características contextuales.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación, fundamentada en un enfoque teórico y conceptual desarrollado mediante revisión bibliográfica (Lakatos & Marconi, 2019), se ancla en el pensamiento algorítmico de proyecto (Aragno, 2023; Oxman, 2017). Como se ha visto, este tipo de pensamiento se concibe como un proceso estructurado que configura principios orientadores. Estos principios no funcionan como reglas rígidas y herméticas, sino como flexibles y desde un punto de vista de la lógica difusa (Dubbeldam, 2006), en la que se trabaja con estados intermedios entre polos opuestos. Por lo tanto, se parte de un enfoque estadístico para llegar a algunas soluciones plausibles, no solo una (única). También se desarrollan procedimientos intermedios adaptativos, conforme a las características

intrínsecas de cada estudiante. Además, se tiene la parametrización de variables y una interactividad dinámica (mutable o variable) entre el arquitecto y los instrumentos computacionales. Así, el componente humano es el responsable de regir el aparato tecnológico, de manera recursiva e iterativa, también por pensar de forma inventiva y crítica, así como por configurar su propio meta-proceso de proyecto.

La Dinámica de la Información Algorítmica, en un sentido estricto, constituye un área de investigación dedicada a la comprensión y manipulación estratégica del comportamiento de la información en sistemas complejos. En términos generales, su aplicación viabiliza la formulación de hipótesis computables, la selección criteriosa de modelos, así como la reducción de la alta dimensionalidad de los datos sin comprometer la integridad informacional (Ames & Mazzotti, 2023; Zenil et al., 2020).

Prosiguiendo, este dominio matemático y estadístico, vinculado a lo computacional, contribuye a la eliminación de redundancias y ambigüedades entre variables de proyecto, así como al análisis de perturbaciones en conjuntos de datos. En el contexto del proyecto arquitectónico, las transformaciones en las relaciones entre variables, incitadas o estudiadas por el arquitecto, se entienden como perturbaciones en el sistema dinámico. Nuevamente, se recurre a la lógica difusa para entender este aspecto. Existe el potencial de mejorar la eficiencia y ampliar las posibilidades de procesos analíticos, como la capacidad de adaptación y respuesta en contextos de elevada complejidad.

Con vistas a explicitar la configuración metodológica adoptada, la investigación se desdobra en un conjunto de protocolos interdependientes que orientan su fundamentación teórica, su aplicación práctica y la subsiguiente validación de los resultados. Inicialmente, se conduce un análisis teórico-conceptual, en el cual la revisión de la literatura posibilita la identificación de enfoques metodológicos que articulan modelado paramétrico, inteligencia artificial analítica y simulación computacional al proceso proyectual arquitectónico. Esta etapa constituye el fundamento epistemológico necesario para la definición de los parámetros investigativos y la formulación de estrategias pedagógicas aplicables a la enseñanza de la arquitectura.

A continuación, en lo que respecta a las estrategias pedagógicas respaldadas por el análisis teórico-conceptual, se procede a la proposición de actividades didácticas. Estas actividades se conciben para explorar la interacción entre estudiantes y herramientas computacionales, con énfasis en la experimentación de las relaciones entre variables, que conducirán a geometrías distintas (variables), así como en la evaluación de condicionantes ambientales. Tal enfoque no solo amplía la comprensión de los estudiantes sobre los impactos del modelado paramétrico en la práctica proyectual, en un sentido procedural, sino que también los capacita para el uso de estas herramientas como instrumentos analíticos activos y operacionales en el proceso de concepción arquitectónica.

La etapa subsecuente corresponde a la experimentación y evaluación, en la cual las actividades propuestas se aplican en un entorno académico controlado, permitiendo el

análisis de su eficacia en la formación de arquitectos y en la asimilación de conceptos proyectuales mediados por inteligencia artificial. Los experimentos fueron desarrollados en la asignatura de Proyecto, del curso de Arquitectura y Urbanismo, de la Universidad São Judas Tadeu, ubicada en São Paulo, SP, Brasil.

En este contexto, los estudiantes desarrollan ejercicios proyectuales situados en una localidad específica, con problemáticas reales, cuya resolución debe considerar, además de los aspectos formales y ambientales, las restricciones legales y normativas pertinentes. La tipología está orientada a edificios multifuncionales en altura, abarcando usos residencial, comercial y de servicios.

El proceso experimental implica, adicionalmente, aspectos específicos del contexto educativo local. Se consideran la necesidad de softwares con interfaz intuitiva, dada la familiaridad incipiente de los estudiantes con la informática aplicada al proyecto de manera algorítmica.

La investigación culmina en la estructuración metodológica de los hallazgos, no como una sistematización rígida y hermética, sino de una forma que pueda servir como referencia para la integración de herramientas analíticas, paramétricas y de simulación a la enseñanza de la arquitectura, posiblemente en conjunto con otros métodos y herramientas tradicionales.

Este proceso, en términos ampliados, busca consolidar una red conceptual de apoyo al pensamiento proyectual, promoviendo un marco metodológico que viabilice, especialmente, la incorporación de la inteligencia artificial analítica al pensamiento algorítmico de proyecto.

4. RESULTADOS

La incorporación de herramientas computacionales en la enseñanza de la arquitectura presenta desafíos significativos. Uno de estos desafíos, ya abordado, se refiere a la necesidad de interfaces amigables o simplificadas para el usuario principiante. Por otro lado, procurando señalar otros desafíos, se apunta al acceso a softwares especializados, cuyos costos de licenciamiento pueden constituir un obstáculo sustancial, especialmente en contextos académicos con recursos financieros limitados.

En ese sentido, la disponibilidad del Forma Autodesk como herramienta gratuita para licencia estudiantil se configura como un diferencial estratégico, posibilitando que los estudiantes exploren sus funcionalidades sin conocimientos técnicos robustos y sin restricciones financieras. Esta accesibilidad viabiliza la introducción de tecnologías analíticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, permitiendo la experimentación con modelado paramétrico e inteligencia artificial analítica a gran escala.

Desde las primeras interacciones con el software, los estudiantes relataron facilidad en la manipulación de la plataforma, beneficiándose de su interfaz intuitiva y de la claridad en la exhibición de los datos analíticos. Este aspecto refuerza la afirmación inicial de que la organización de los elementos gráficos del software facilita su manejo. Pero también contribuye a la comprensión profunda de los parámetros proyectuales y de sus intrincadas relaciones. La posibilidad de superposición e interconexión de diferentes capas de información, como radiación solar, ventilación y generación de energía eléctrica por paneles fotovoltaicos, confirió al proceso proyectual una dinámica interactiva y exploratoria. De esta forma, incluso estudiantes con reducida familiaridad con herramientas computacionales pudieron experimentar diversos escenarios y probar múltiples configuraciones para sus propuestas arquitectónicas.

Otro aspecto importante, en términos de desafíos en el uso de aplicaciones digitales avanzadas, está en el alto poder de procesamiento requerido por las máquinas. En el caso del Forma Autodesk, esa carga –que se reflejaría también en la adquisición de máquinas de elevado costo– no existe, ya que todo el procesamiento se realiza en la nube de Autodesk. Este factor permite que el estudiante opere el software desde una máquina sencilla, en términos de hardware, y con una conexión a internet de velocidad media.

Los datos extraídos del Forma Autodesk desempeñaron un papel central en la formulación de las estrategias proyectuales, permitiendo un enfoque que supera la representación y se ancla en parámetros medibles y manipulables (interferencias en el sistema). De esta manera, los estudiantes pudieron evaluar algorítmicamente, de modo objetivo, el desempeño de las edificaciones frente a las variables ambientales y urbanísticas, promoviendo un proceso proyectual más fundamentado y responsivo. La experiencia evidenció cómo el análisis computacional amplía la comprensión de las condiciones contextuales del entorno, permitiendo que las decisiones arquitectónicas sean potenciadas mediante una evaluación rigurosa de los datos recolectados.

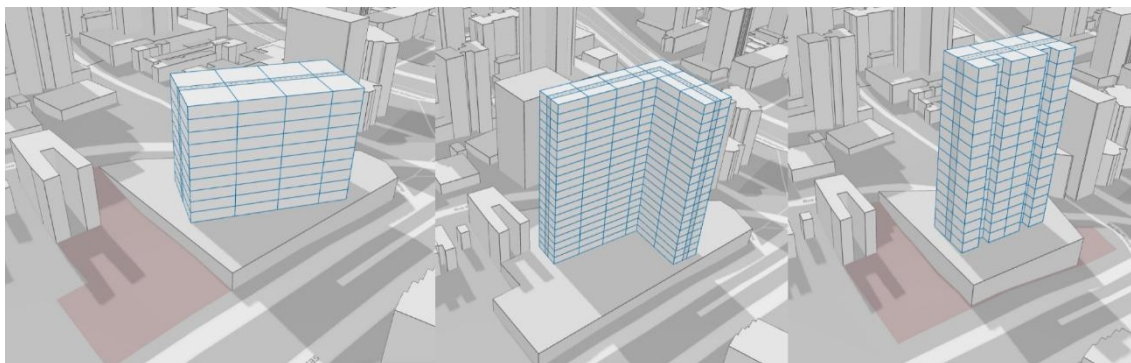
Entre los recursos de mayor relevancia para el desarrollo proyectual, se destaca la pestaña Métrica de Áreas, que proporciona, en tiempo real, informaciones detalladas acerca de la ocupación del lote y de la distribución espacial del edificio. Esta funcionalidad presenta datos fundamentales, como el área total del terreno, la ocupación de la planta baja sobre la superficie del suelo, los parciales de área construida por planta y la sectorización conforme a los diferentes usos definidos en el proyecto. Prosiguiendo, el software realiza el cálculo automatizado del área total construida, permitiendo que los estudiantes verifiquen, desde las fases iniciales del proceso, la conformidad normativa de sus propuestas arquitectónicas.

Los beneficios comentados en el párrafo anterior adquieren aún mayor relevancia ante la actualización en tiempo real de los cálculos, con cada modificación realizada en la modelación del edificio, asegurando precisión y agilidad en el proceso de análisis y toma de decisiones. De esta forma, los estudiantes pueden explorar diferentes configuraciones volumétricas y programáticas, ajustando el proyecto para alcanzar una negociación entre conformidad legal, eficiencia espacial sostenible y viabilidad arquitectónica: aspectos

esenciales en la formulación de soluciones arquitectónicas coherentes y fundamentadas. La Figura 1 presenta algunas opciones de partidos arquitectónicos volumétricos, para edificios multifuncionales en altura, insertados en el lote de estudio:

Figura 1.

Estudios de partidos arquitectónicos.



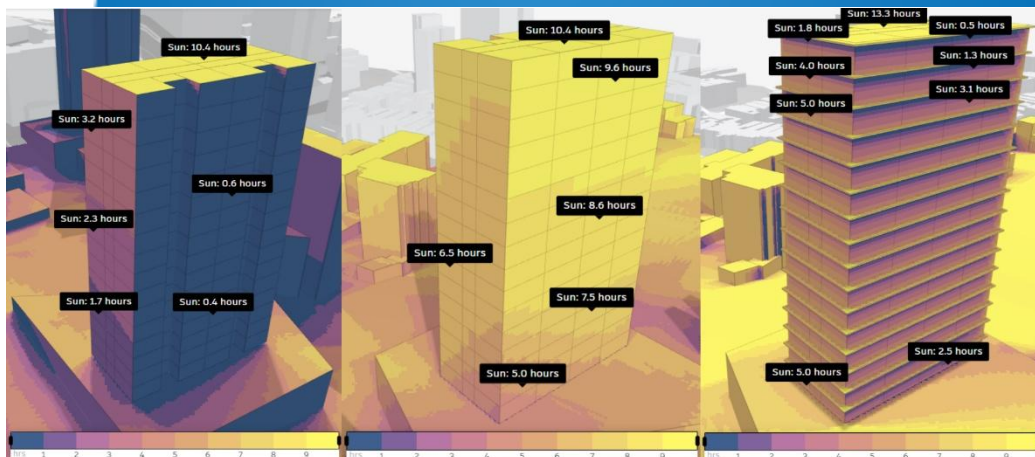
Nota: Tres opciones de formatos para el edificio. **Fuente:** Elaboración propia.

El análisis de la incidencia solar, considerando los solsticios de invierno y verano, así como el equinoccio, reveló patrones de sombreado e iluminación a lo largo del año, permitiendo una evaluación precisa del comportamiento de la radiación solar sobre las edificaciones. Las temperaturas presentadas por el Forma Autodesk son relativas a la sensación térmica, no a la temperatura absoluta, lo que confiere un carácter cualitativo a los datos. A partir de los cálculos generados por el software, fue posible determinar el número de horas diarias de insolación sobre cada fachada en distintos períodos del año, propiciando la formulación de estrategias proyectuales fundamentadas en datos cuantitativos, cualitativos y simulaciones computacionales.

Este análisis permitió la adopción de decisiones proyectuales acertadas, especialmente en lo que respecta a la orientación de las fachadas, de modo que se maximicen las ganancias térmicas pasivas en los meses fríos y se mitigue el sobrecalentamiento en los períodos de mayor temperatura. El posicionamiento de brise-soleils fue ajustado de acuerdo con la disponibilidad de radiación solar, favoreciendo el aprovechamiento de la luz natural y reduciendo la dependencia de sistemas artificiales de iluminación y de enfriamiento de los ambientes internos (Figura 2).

Figura 2.

Estudios de insolación y brise-soleils.

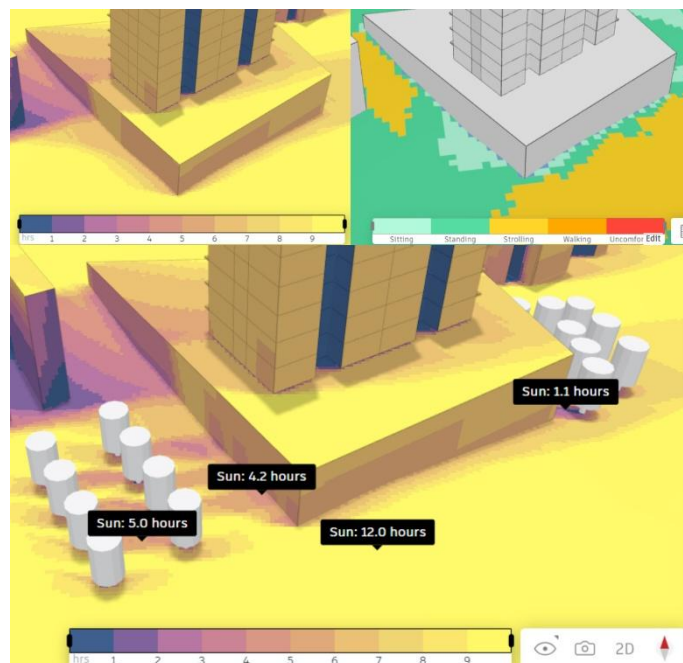


Nota: Cantidad de sol recibida en cada fachada por hora. **Fuente:** Elaboración propia.

La disposición espacial de transiciones y de las áreas de permanencia, en los ambientes exteriores, también fueron proyectadas a partir de los datos obtenidos. Los estudios posibilitaron la implantación planificada de vegetación de porte medio, de modo que se potencie el sombreado, sin comprometer la ventilación natural, favoreciendo la calidad ambiental de los espacios exteriores. La Figura 3 presenta, de izquierda a derecha, los estudios solar y de vientos, así como, en la parte inferior, el resultado de la sensación térmica con arborización en el nivel del suelo.

Figura 3.

Estudios de áreas exteriores con vegetación.



Nota: La inserción de árboles provee sombreado y no perjudica la circulación de los vientos.

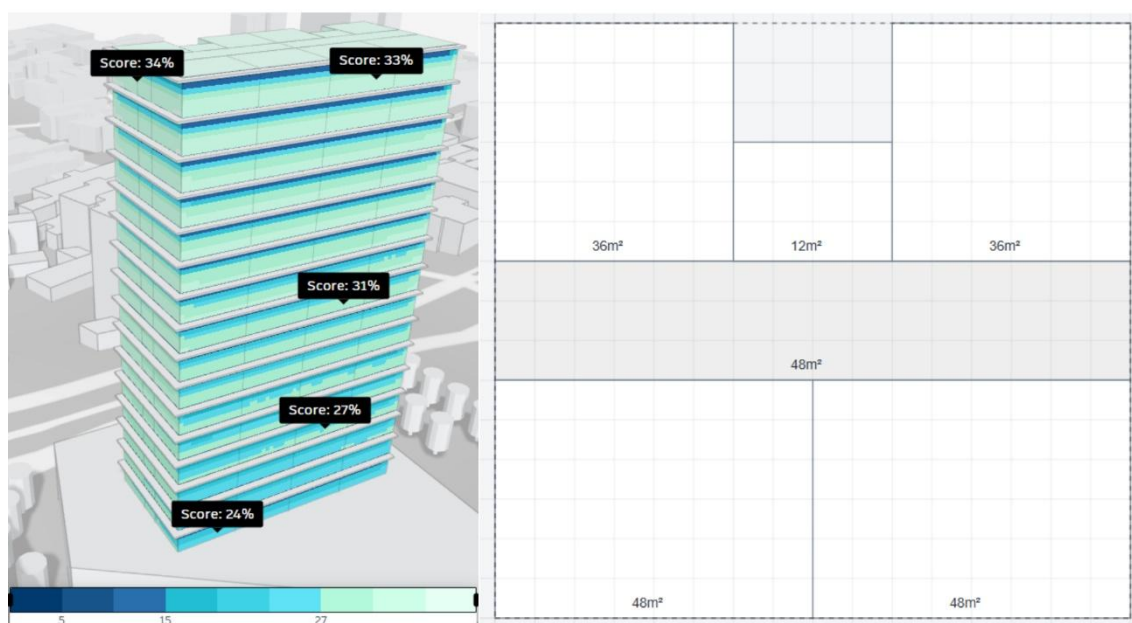
Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, la integración entre modelado computacional y simulación ambiental permitió el desarrollo de soluciones proyectuales que equilibran desempeño climático, calidad espacial y eficiencia energética.

Los cálculos del potencial de luz del día permitieron la optimización del aprovechamiento de la iluminación natural en los interiores, reduciendo la demanda de iluminación artificial y mejorando la eficiencia energética de las edificaciones. A partir de estos datos, los estudiantes realizaron ajustes en las posiciones y en las profundidades de los ambientes, garantizando el máximo aprovechamiento de la luz natural y la consecuente reducción del consumo energético. La Figura 4 muestra, a la izquierda, el estudio del potencial de luz del día para el edificio; a la derecha, el estudio diagramático del módulo de la planta del piso tipo.

Figura 4.

Estudios de luz del día y ambientes interiores.



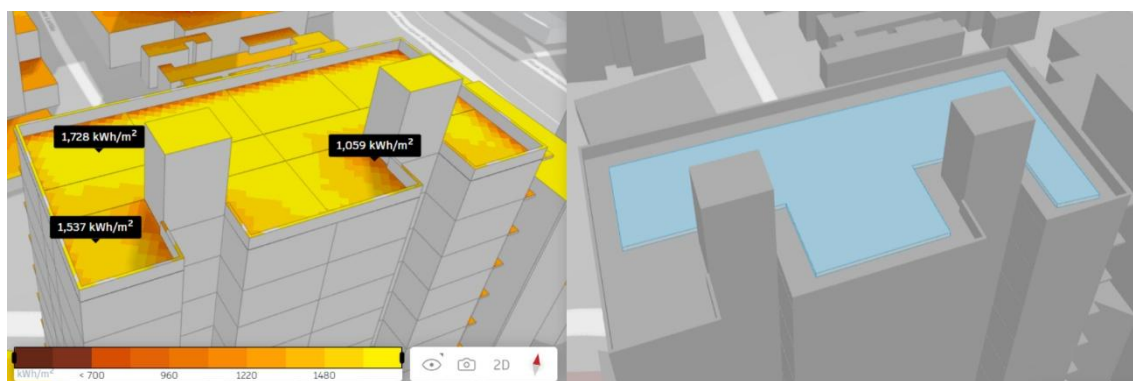
Nota: Análisis que ayudan en la distribución interior de los ambientes. **Fuente:** Elaboración propia.

Es importante destacar que, a partir de estos últimos análisis, los estudiantes percibieron que los ambientes ubicados en los pisos más bajos tienden a verse perjudicados en relación con el aprovechamiento de la luz del día. Mientras que los pisos más altos, además de abarcar vistas más amplias e interesantes de la ciudad, tienen el potencial de aprovechar de forma más eficiente la luz natural. Por otro lado, los pisos más altos son los que más tienden a sufrir con altas temperaturas provenientes de la radiación solar, a no ser que el sistema de ventilación cruzada sea optimizado. Por lo tanto, quedó evidente la constante negociación entre ventajas y desventajas, entre problemas y soluciones que se desarrollan durante el proceso de diseño.

Prosiguiendo, se evaluó la viabilidad de la generación de energía solar mediante paneles fotovoltaicos, desempeñando un papel esencial en la definición de las cubiertas y superficies más propicias para la captación de energía. A partir de los datos proporcionados por el software, los estudiantes pudieron evaluar las áreas de techo destinadas a la instalación de los paneles solares, priorizando zonas de mayor exposición a la radiación solar. La figura 5 presenta, a la izquierda, el estudio analítico del potencial de generación de energía eléctrica por paneles fotovoltaicos, con la inclusión de los áticos y antepechos; a la derecha, las demarcaciones de las mejores áreas:

Figura 5.

Estudios de generación de energía eléctrica.



Nota: Capacidad y ubicación de paneles fotovoltaicos. **Fuente:** Elaboración propia.

Todas estas etapas evidenciaron la relevancia de la simulación computacional en los estudios de los partidos arquitectónicos. Más que una definición, se tiene un conjunto de soluciones plausibles. Los criterios para la elección de la mejor situación son desempeñados por el factor humano, pero respaldados por los datos y simulaciones proporcionados por el conjunto digital, ofreciendo a los estudiantes una metodología consistente para la concepción de edificaciones adaptadas a las condiciones climáticas del lugar.

La presente investigación instó a los estudiantes a considerar, en sus enfoques proyectuales, la relación dialéctica entre los edificios y el espacio urbano, promoviendo una concepción arquitectónica que trasciende los límites físicos del lote y establece un diálogo sistémico con la ciudad. A partir del análisis de los flujos morfológicos (Quaroni, 1987), se propusieron soluciones que articulan diferentes puntos del entorno y favorecen una integración orgánica entre el proyecto y su contexto.

El conjunto de estrategias, tácticas y operaciones se consolidó significativamente en la cualificación del uso del suelo, trayendo beneficios potenciales a la población. Entre los impactos positivos evidenciados, se destaca la creación de recorridos sombreados y arborizados, que incentivan la caminabilidad y proporcionan mayor confort térmico durante los desplazamientos urbanos.

Es interesante destacar que estos criterios de proyecto, señalados en el párrafo anterior, no estaban definidos previamente en el programa de necesidades, sino que fueron resultado de lecturas e interpretaciones críticas de datos provenientes de los estudios climáticos de incidencia solar y flujos de viento. Estas simulaciones comenzaron a sugerir, para los estudiantes, que algunas áreas exteriores serían relevantes para la permanencia y el fortalecimiento de las relaciones humanas, así como para una posible construcción de nociones de pertenencia, reconocimiento y afectividad con el lugar. También se discutieron en clase, a partir de los datos visualizados en la pantalla, áreas propicias para la práctica de deportes o caminatas, justamente porque el flujo de aire era más intenso, ofreciendo así mayor confort o desempeño en las actividades.

Estas estrategias pedagógicas expandieron la comprensión de los estudiantes sobre la interdependencia entre espacio construido y dinámica urbana, fortaleciendo la dimensión pública o social de la arquitectura. Hubo un incentivo autónomo, relativo a la construcción de un meta-proceso inventivo y analítico (además crítico), para concebir edificios que no solo respondan a las condicionantes programáticas, sino que también contribuyan activamente a la cualificación del espacio urbano.

Los experimentos conducidos subrayaron que la integración entre inteligencia artificial analítica y modelado paramétrico en el proceso proyectual proporciona avances sustanciales en la eficiencia y fundamentación técnica de las propuestas arquitectónicas. La experimentación con el Forma Autodesk se reveló como un vector esencial para la construcción de un pensamiento proyectual orientado por datos, permitiendo la formulación de soluciones arquitectónicas que responden a las condicionantes ambientales, urbanísticas y funcionales del lote.

Métodos y herramientas tradicionales, como dibujos manuales de croquis y plantas diagramáticas elaboradas en el software Autocad, estuvieron presentes durante las actividades de manera orgánica. Es decir, no fueron solicitadas por el docente. Este es un carácter que refuerza la idea de que la metodología, aquí estructurada, es flexible y abierta, así como permite la organización no lineal de pensamientos y experimentaciones según las características personales de los estudiantes. La metodología propuesta se adhiere y se desarrolla como un flujo algorítmico estructurado, en el cual las decisiones emergen de un proceso iterativo, recursivo y parametrizado. En este contexto, el pensamiento algorítmico de proyecto asume un papel central, organizando el desarrollo de las soluciones arquitectónicas como principios orientadores, relaciones entre variables y operaciones computacionales dinámicas, orientando la formulación y evolución del proyecto con base en datos cuantitativos y cualitativos.

Por otro lado, el pensamiento algorítmico de proyecto también ofrece la posibilidad de realizar revisiones sistemáticas. Desde el momento en que se conocen los procedimientos, los orígenes de los datos y las soluciones emergentes en cada etapa recursiva o iterativa de la invención arquitectónica, se vuelve más fácil revisar determinado aspecto directamente en su respectiva etapa. Así, se puede continuar con la elaboración del proyecto, pensando como una derivación de las condiciones precedentes.

La facilidad de uso del software, aliada a la riqueza de los análisis computacionales, permitió tomar decisiones conscientes y fundamentadas. Aunque a partir de un recorte local, sin un enfoque estadístico, la investigación demuestra que la introducción de estas herramientas en la enseñanza de la arquitectura potencializa la capacidad de los estudiantes para articular pensamiento proyectual y criterios técnicos, consolidando un enfoque metodológico alineado con las exigencias contemporáneas de la práctica arquitectónica. Los archivos generados son intercambiables con otros softwares de Autodesk y de otros fabricantes, lo que configura una capa de interés adicional para los estudiantes.

Por un sentido de síntesis, se presenta la estructura metodológica basada en el pensamiento algorítmico de proyecto:

La fase inicial consiste en la definición de relaciones y parámetros de entrada, delimitando las variables proyectuales fundamentales, tales como restricciones urbanísticas, ambientales y programáticas. Estas definiciones también provienen de la propia interfaz del software elegido. Desde el principio, el proyecto es concebido a partir de parámetros computacionales, que establecen los límites normativos y condicionantes de desempeño.

A continuación, se inicia la generación algorítmica del modelo volumétrico inicial, utilizando el Forma Autodesk para estructurar un modelo paramétrico, que no es fruto de decisiones formales puramente intuitivas, sino de un sistema orientado. En esta etapa, se definen los principios orientadores de adaptación volumétrica, permitiendo que el propio modelo responda, con datos, a las simulaciones ambientales – tales como índices de sombreado, ventilación y eficiencia energética – generando la posibilidad de validar escenarios múltiples, que, a su vez, pueden ser comparados y refinados a lo largo del proceso.

Seguidamente, se intensifican análisis iterativos y recursivos, fundamentales para la retroalimentación del modelo. Puede continuarse con la evaluación profunda de la incidencia solar, permitiendo mapear la exposición del edificio al sol a lo largo del año, considerando solsticios y equinoccios. Luego, se procede a la simulación de la ventilación natural, que investiga los flujos de viento en el lote, ayudando en la definición estratégica de aperturas y espacios exteriores. El tercer análisis se destina a la eficiencia de la luz natural, optimizando la organización de los ambientes interiores y proponiendo soluciones que maximicen el aprovechamiento de la iluminación natural. Finalmente, la optimización del potencial energético evalúa la viabilidad de la instalación de paneles fotovoltaicos y ajusta las geometrías de la cubierta para maximizar la captación de energía solar.

Con cada nueva iteración, el modelo computacional actualiza automáticamente los datos, asegurando que los ajustes proyectuales sean validados por criterios analíticos claros. Sin embargo, a pesar de la secuencia sugerida en el párrafo anterior, se ha revelado una flexibilidad en términos del usuario (estudiante) para definir por qué disciplina arquitectónica desea iniciar el proyecto. Hay libertad para concatenar el pensamiento en

conjunto con la máquina. Esta característica es transferible a otros softwares similares que, eventualmente, el estudiante elija usar, es decir, no sería una exclusividad del Forma Autodesk. Como ejemplo de software alternativo, se señala el Ladybug – un add-on de Grasshopper, que es un plug-in del software Rhinoceros, de la empresa MacNeel & Associates –, que es capaz de evaluar eficiencias ambientales.

El flujo de trabajo no necesariamente se finaliza. Permanece abierto el avance hacia la reconfiguración paramétrica del modelo, en la cual los datos (parámetros) analíticos generados retroalimentan las variables iniciales, permitiendo la adaptación o transformación del proyecto. En esta fase, la volumetría del edificio se refina en consonancia con los nuevos datos, estableciendo una relación dinámica entre forma, desempeño y contexto urbano. Es interesante que esta etapa comprenda ajustes en la organización espacial, en la redistribución de usos internos, en la readecuación de la sectorización funcional, además de garantizar la conformidad normativa por medio de la pestaña Métrica de Áreas.

Al alcanzarse una solución plausible optimizada, tras algunas rondas recursivas e iterativas, se abre espacio para probar derivaciones de los hallazgos principales. El Forma Autodesk permite la elaboración de diversas opciones de proyecto y su comparación mediante una interfaz amigable. Pueden disponerse algunas alternativas simultáneamente en la misma pantalla. El modelo devuelve datos actualizados para cada situación. En caso de que los resultados indiquen la necesidad de ajustes adicionales, los parámetros son reevaluados por los estudiantes, conduciendo a nuevas iteraciones hasta la obtención de soluciones satisfactorias.

Las soluciones finales no emergen puramente de un proceso subjetivo, sino de un sistema algorítmico integrado, que articula simultáneamente datos normativos, climáticos, energéticos y urbanos, permitiendo que cada decisión proyectual sea validada por criterios cuantitativos y cualitativos.

Esta estructura metodológica fundamentada en el pensamiento algorítmico de proyecto no solo optimiza el proceso proyectual, sino que también amplía la capacidad de los arquitectos y estudiantes para lidiar con la complejidad, la adaptabilidad y la precisión técnica. El modelo propuesto favorece una interacción más eficiente entre inventiva proyectual e inteligencia computacional.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por medio de la experimentación con el Forma Autodesk evidencian que la incorporación del pensamiento algorítmico de proyecto no solo mejora la calidad del proceso proyectual, sino que también transforma de manera sustancial su lógica operativa. La introducción de un flujo iterativo y recursivo, en el cual las decisiones están condicionadas por datos analíticos y se prueban en tiempo real, configura una ruptura paradigmática con respecto a los métodos convencionales de concepción

arquitectónica. La posibilidad de estructurar parámetros de entrada, generar soluciones volumétricas computacionales y refinarlas con base en simulaciones cuantitativas y cualitativas permitió que los estudiantes adoptaran una postura más analítica y experimental, fundamentando sus elecciones arquitectónicas en un proceso dinámico de evaluación y reconfiguración.

El análisis de la incidencia solar evidenció uno de los principales beneficios de este enfoque algorítmico. A diferencia de un método lineal, la volumetría de las edificaciones fue ajustada de manera progresiva, mediante sucesivas iteraciones, refinando continuamente la relación entre forma y desempeño térmico. El proceso dejó de ser una simple respuesta pasiva a las condiciones climáticas, para incorporar el ambiente como un conjunto de variables activas en el modelo computacional. En segundo lugar, se encuentran los estudios de ventilación natural, en los cuales se probaron múltiples escenarios de distribución espacial con el objetivo de optimizar los flujos de aire, ajustando distancias entre edificaciones, sectorización y organización espacial para potenciar el confort térmico y la eficiencia energética de las construcciones.

Otro aspecto de notable relevancia fue el impacto de lo analítico en la definición del espacio urbano inmediato. La herramienta permitió la experimentación de transiciones públicas en el lote, permitiendo la evaluación visual del impacto de la volumetría en la circulación peatonal y en la integración del proyecto con el entorno urbano. La capacidad de analizar diferentes configuraciones espaciales condujo a soluciones más conectadas con el tejido urbano y sensibles a las dinámicas de la ciudad.

Junto con el grado de importancia del estudio solar, se revela la relación entre edificio y contexto, mediante la integración de la pestaña Métrica de Áreas. El proceso dinámico suprimió uno de los desafíos recurrentes en la enseñanza de arquitectura: la verificación tardía de la conformidad legal del proyecto, que puede resultar en la necesidad de ajustes complicados y, a veces, incompatibles con la propuesta inicial. Con la adopción del pensamiento algorítmico de proyecto, estas restricciones pasaron a ser incorporadas como parámetros computacionales desde la etapa inicial del proceso, permitiendo ajustes en tiempo real a medida que los modelos eran probados y perfeccionados.

Sin embargo, a pesar de los beneficios evidenciados, la investigación también reveló desafíos inherentes al cambio de mentalidad con respecto a las prácticas tradicionales de concepción arquitectónica, en comparación con el pensamiento algorítmico de proyecto, especialmente para estudiantes más avanzados en el curso. Con alguna dificultad, se logró desplazar el foco de la creación puramente intuitiva hacia un proceso estructurado de experimentación, exploración y refinamiento fundamentado en datos computacionales.

Otra cuestión delicada está en las limitaciones inherentes a los sistemas. Estas limitaciones pueden ser de carácter teórico, práctico, capacidad de procesamiento, algorítmico y epistemológico, entre otros. Además, los sistemas basados en inteligencia artificial pueden abarcar sesgos de datos, errores de generalización e interpretaciones limitadas. Por lo tanto, se destaca el papel del agente humano en la regulación de estos

sistemas y en la construcción del pensamiento crítico. El computador es posicionado, aquí, como un socio activo para el estudiante de arquitectura, pero debe ser entendido como un socio minoritario, funcionando muchas veces como un consultor o un impulso para la imaginación orientado por el docente.

6. CONCLUSIÓN

La presente investigación evidenció que la incorporación del pensamiento algorítmico de proyecto, basado en la modelación paramétrica y en la inteligencia artificial analítica, viabiliza un proceso proyectual de mayor precisión, iteratividad y fundamentación en datos. La experimentación conducida por medio del Forma Autodesk demostró que las herramientas computacionales pueden actuar como agentes activos en la concepción arquitectónica, promoviendo una reconfiguración del proceso de proyecto al posibilitar ajustes continuos y adaptativos, en respuesta a simulaciones analíticas en tiempo real.

Entre los avances más significativos constatados, se destaca la capacidad de adaptar volumetrías a las condicionantes ambientales y normativas, garantizando conformidad legal y eficiencia espacial desde las fases iniciales del proyecto. Adicionalmente, la integración de la modelación paramétrica a los parámetros de desempeño ambiental propició un flujo proyectual más eficaz y conectado a la realidad normativa y técnica, reduciendo inconsistencias y ampliando el fundamento en las tomas de decisión. Además, la metodología propuesta reveló el potencial de las geometrías, no solo como elementos de exploración formal, sino como instrumentos estratégicos para la optimización del desempeño estructural, del confort ambiental y de la eficiencia energética.

En el ámbito de la formación académica, esta investigación también se destaca por contribuir a la construcción de una estructura metodológica capaz de integrar distintos enfoques proyectuales, favoreciendo una enseñanza más alineada con las demandas contemporáneas de la práctica arquitectónica. La posibilidad de articular geometrías y condicionantes ambientales mediante modelación parametrizada permitió que los estudiantes desarrollaran una comprensión ampliada del proceso de proyecto, concibiéndolo como un sistema interdependiente de variables computacionales y condicionantes contextuales.

Como desarrollos futuros, se propone el desarrollo de nuevas investigaciones orientadas a la relación entre geometría y estructura, profundizando el análisis del comportamiento estructural de superficies complejas y sus interacciones con factores ambientales. Tal enfoque, cuando se lleva a cabo de forma estratégicamente dinámica en el proceso constructivo, puede desempeñar un papel crucial en la comprensión, por parte de los estudiantes, sobre la mitigación de los desafíos ambientales contemporáneos, impulsando soluciones arquitectónicas más eficientes, resilientes y sostenibles. Paralelamente, futuras investigaciones podrán explorar el potencial de la inteligencia artificial no solo como herramienta analítica, sino también como agente generador de soluciones proyectuales,

probando su aplicabilidad en la formulación e iteración de alternativas en tiempo real y consolidando un flujo cooperativo entre el estudiante y la máquina en el desarrollo del proyecto arquitectónico.

De esta manera, la presente investigación reafirma la relevancia de la modelación paramétrica y de la inteligencia artificial analítica en el contexto de la arquitectura contemporánea, resaltándolas como herramientas relevantes para potenciar la inventiva proyectual. Posicionadas como socias activas para el arquitecto estudiante, pero de manera comedida y cuidadosa, las herramientas permiten profundizar el análisis técnico de los edificios y fomentar soluciones más adaptativas, eficientes e integradas a su entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ames, M. G., & Mazzotti, M. (2023). *Algorithmic modernity*. Oxford University Press.
- Aragno, A. (2023). The algorithm: mind of a virtual era – our code of codes. “International Journal of Psychoanalysis and Education: Subject, Action & Society”, 3(2).
<https://doi.org/10.32111/SAS.2023.3.2.1>
- Batista, D. S. (2024). Inteligência Artificial (IA) Design e Arquitetura. Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU-BR). <https://caubr.gov.br/artigo-inteligencia-artificial-ia-design-e-arquitetura/>
- Bernstein, P. (2022). *Machine Learning: architecture in the age of artificial intelligence*. RIBA Publishing.
- Campo, M. (2022). *Neural Architecture: design and artificial intelligence*. ORO Editions.
- Chaillou, S. (2022). *Artificial Intelligence and architecture: from research to practice*. Birkhauser.
- Cornwell, A. (2024). What caused Dubai floods? Experts cite climate change, not cloud seeding. “Reuters”. <https://www.reuters.com/world/middle-east/what-caused-storm-that-brought-dubai-standstill-2024-04-17/>
- Corona Martínez, A. (2000). *Ensaio sobre o projeto*. UnB.
- Cross, N. (2011). *Design thinking: understanding how designers think and work*. Berg Publishers.
- Dollens, D. (2002). *De lo digital a lo analógico*. Editorial Gustavo Gili.
- Dollens, D. (2005). *Digital botanic architecture*. Lumen Books.
- Dubbeldam, W. (2006). After-thought. “Perspecta”, 38, 12-19.
<https://www.jstor.org/stable/40482418>
- Edwards, B. (2004). *Guía básica de la sostenibilidad*. Editorial Gustavo Gili.
- Grunow, E. (2023). Pitá. “Revista Projeto”. <https://revistaprojeto.com.br/acervo/perfis/pita/>

- Kolarevic, B., & Malkawi, A. (2005). *Performative Architecture: beyond*. Routledge.
- Kuhn, T. S. (2012). *The structure of scientific revolutions* (50th anniversary ed.). The University of Chicago Press.
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. D. A. (2019). *Fundamentos de metodologia científica* (8ª ed.). Atlas.
- Lawson, B. (2011). *Como arquitetos e designers pensam*. Oficina de Textos.
- Leach, N. (2022). *Architecture in the age of Artificial Intelligence: an introduction to AI for architects*. Bloomsbury.
- Maes, J. (2024). Entenda a relação das mudanças climáticas com o desastre no RS. “Folha de S. Paulo”, 104(34.733). <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2024/05/entenda-a-relacao-das-mudancas-climaticas-com-o-desastre-no-rs.shtml>
- McDonough, W. (2024). William McDonough delivers keynote to aspiring climate leaders at the Climatebase Fellowship. “McDonough Innovation”. <https://mcdonough.com/william-mcdonough-delivers-keynote-to-aspiring-climate-leaders-at-the-climatebase-fellowship/>
- Oxman, R. (2017). Thinking difference: theories and models of parametric design thinking. “Design Studies”, 52, 4-39. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142694X17300431>
- Quaroni, L. (1987). *Proyectar un edificio: ocho lecciones de arquitectura*. Xarait Ediciones.
- Redação CAU/SP. (2024). Câmara Temática do CAU/SP para Inteligência Artificial avalia impactos de tecnologias para Arquitetura e Urbanismo. Conselho de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo (CAU-SP). <https://causp.gov.br/camara-tematica-do-cau-sp-para-inteligencia-artificial-avalia-impactos-de-tecnologias-para-arquitetura-e-urbanismo/>
- Zellner, P. (1999). *Hybrid Space: new forms in digital architecture*. Thames & Hudson.
- Zenil, H., Kiani, N. A., Abrahão, F. S., & Tegnér, J. N. (2024). Algorithmic Information Dynamics. “Scholarpedia”, 15(7), 53143. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.53143>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.