

# Creatividad humana, inteligencia artificial y educación en arquitectura

Human creativity, artificial intelligence and education in architecture

Mauricio Muñoz-Escalante

Universidad Antonio Nariño

Correo: maurmunoz@uan.edu.co

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-2488-2912>

María José Alaix-Rivera

Investigadora independiente

Correo: mariajosealaix@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-8546-381X>

Luis Fernando Molina-Prieto

Investigador independiente

Correo: lmolinaprieto@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3039-427X>

e-RUA

Fecha de recepción: 23/03/2025

Fecha de aceptación: 05/06/2025

<https://doi.org/10.25009/e-rua.v17i08.313>

## Resumen

El artículo aborda el tema de la creatividad en arquitectura desde dos enfoques distintos: la creatividad humana y la inteligencia artificial (IA), haciendo énfasis en los ambientes académicos. La introducción presenta la evolución del concepto de creatividad humana, y los orígenes y el desarrollo de la IA. Los resultados analizan la manera en que la aparición de la IA abre muchas posibilidades, pero también plantea debates complejos que convulsionan las nociones pedagógicas y conceptuales tradicionales. Se presentan además resultados parciales de trabajos desarrollados en el aula. Se concluye que, aunque la IA añade complejidad, también enriquece el potencial de colaboración, permitiendo a los equipos —humano-máquina— de diseño explorar juntos vías creativas más profundas, amplias y diversas.

## Palabras Clave:

Diseño colaborativo, Machine learning, colaboración hombre-máquina, educación en arquitectura.

## Abstract:

The article addresses the topic of creativity in architecture from two different perspectives: human creativity and artificial intelligence (AI), with an emphasis on academic environments. The introduction presents the evolution of the concept of human creativity and the origins and development of AI. The results analyze how the emergence of AI opens up many possibilities, but also raises complex debates that shake up traditional pedagogical and conceptual notions. Partial results of work developed in the classroom are also presented. It concludes that, although AI adds complexity, it also enriches the potential for collaboration, allowing human-machine design teams to explore deeper, broader and more diverse creative avenues together.

## Keywords:

Collaborative design, Machine learning, human-machine collaboration, architecture education.



## Introducción

### Creatividad humana

El concepto de creatividad humana ha evolucionado significativamente a lo largo de la historia, siempre moldeado por contextos culturales, filosóficos y científicos.

En los períodos Antiguo y Clásico, la creatividad a menudo se atribuía a fuerzas sobrenaturales: en la antigua Grecia, por ejemplo, los poetas y artistas eran vistos como receptáculos de las Musas, entidades divinas que inspiraban sus obras (Boden, 2004). De manera similar, en el hinduismo, la creatividad estaba vinculada a dioses poderosos como Brahma, creador del universo (Negroponte, 1995). Por otro lado, filósofos griegos como Platón veían el arte y la creatividad como imitaciones de la naturaleza o de formas ideales, centrándose no tanto en la originalidad, sino en reflejar con precisión verdades existentes (Clark & Chalmers, 1998). En la misma línea, durante la Edad Media la creatividad se entendía como un acto de gracia divina: Dios era el creador supremo, y la creatividad humana era una humilde reflexión de Su obra. Los artistas eran vistos como artesanos al servicio de propósitos religiosos, más que como creadores autónomos, de manera que la creatividad era a menudo colectiva, regulada por gremios que enfatizaban el dominio de la técnica sobre la innovación (Boden, 2016).

El Renacimiento —siglos XIV a XVII— marcó un cambio hacia una creatividad centrada en el ser humano. Leonardo da Vinci y Miguel Ángel fueron celebrados como genios con talentos únicos (Csikszentmihalyi, 1996). La creatividad se vinculaba con el brillo individual y la originalidad, al tiempo que se hizo prominente la fusión entre arte y ciencia, considerando la creatividad como un proceso de experimentación y descubrimiento (Simonton, 1999). De igual forma, en la Ilustración — Siglo XVIII— se enfatizó la razón y el intelecto. La creatividad se vinculaba con la lógica, el conocimiento y la aplicación de principios universales, construyendo sobre conocimientos existentes, en lugar de crear ex nihilo (Runco & Jaeger, 2012). Asimismo, el Romanticismo —finales del siglo XVIII y siglo XIX— elevó la idea del artista como genio solitario, impulsado por la emoción, la imaginación y una profunda conexión con la naturaleza (Sternberg & Lubart, 1999). La creatividad se veía como cualidad mística, casi divina, inherente a individuos que rechazaban la racionalidad de la Ilustración y, más bien, enfatizaban la profundidad emocional y la espontaneidad del proceso creativo (Clark & Chalmers, 1998). Ya en el período Moderno —finales del siglo XIX y siglo XX—, Freud y Jung exploraron

la creatividad como un proceso psicológico, vinculado al inconsciente, los sueños y los arquetipos (Martindale, 1999); durante la revolución Industrial, los avances científicos destacaron la creatividad como esencial para la innovación y la resolución de problemas, no sólo en las artes, sino también en la tecnología y la industria (Brynjolfsson & McAfee, 2014); y los movimientos artísticos como el surrealismo buscaron romper con los límites tradicionales, enfatizando procesos inconscientes, aleatoriedad y subversión de normas (Gabora, 2010).

En la contemporaneidad —siglo XXI—, los avances en psicología y neurociencia conceptualizan la creatividad como habilidad cognitiva que implica pensamiento divergente, resolución de problemas e integración de conocimientos entre dominios (Guilford, 1950), y las teorías socioculturales destacan el papel del entorno, la colaboración y las influencias culturales en la configuración de la creatividad (Sawyer, 2012). En ese sentido, la creatividad se ve cada vez más como un rasgo humano universal, no limitado a genios o artistas, sino presente en la resolución de problemas y la innovación diaria (Negroponte, 1995).

### Inteligencia artificial

Por otra parte, los primeros pasos en el desarrollo de la inteligencia artificial se dieron a finales de 1942. El joven matemático Alan Turing construyó con sus colaboradores The Bombe, artefacto electromecánico que descifró las comunicaciones alemanas, generadas por la máquina codificadora Enigma, un hito sin precedentes (Haenlein & Kaplan, 2019). Un año después, un neurofisiólogo y un matemático publicaron sus importantes hallazgos: la primera neurona artificial (McCulloch & Pitts, 1943). Durante la década siguiente se realizaron dos grandes aportes: en 1956 Minsky y McCarthy acuñaron el concepto de "inteligencia artificial", y, posteriormente, otro neurofisiólogo dio a conocer el Perceptron, un dispositivo que intentaba recrear los procesos de percepción del ser humano (Rosenblatt, 1958). Aunque sus habilidades solo le permitían reconocer algunas letras del alfabeto, se considera el primer modelo de Red Neuronal Artificial. Pronto surgieron otros modelos basados en la neurona de McCulloch & Pitts. En 1960 en la Universidad de Stanford, surgió ADALINE, la primera red neuronal que se aplicó a un problema real: eliminar los ecos en las comunicaciones telefónicas; y en 1964, ELIZA, programa de procesamiento de lenguaje natural que mantenía conversación con los usuarios (Averkin & Yarushev, 2003; Haenlein & Kaplan, 2019). No obstante, debido a que los avances en el campo de las redes neuronales fueron relativamente precarios, los inversionistas

se retiraron y la investigación en inteligencia artificial (en adelante IA) se relegó a un segundo plano.

Pero las ciencias de la computación no se detuvieron. De 1959 a 1967 se adelantó en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) el proyecto: Diseño Asistido por Computador, con financiación de la fuerza aérea norteamericana (Cardoso Llach, 2012). En ese entorno, el estudiante de arquitectura Nicholas Negroponte escribió *Machine architecture*, libro publicado por el MIT en 1970. Negroponte vislumbró — en un futuro no muy lejano— una productiva simbiosis hombre-máquina. En palabras de Negroponte: “la asociación íntima de dos especies diferentes (el hombre y la máquina), dos procesos diferentes (el diseño y la computación) y dos sistemas inteligentes (el arquitecto y la máquina de arquitectura)” (Negroponte, 1970, p. VI).

En 1972, en un contexto totalmente diferente, el arquitecto alemán Frei Otto utilizó por primera vez una máquina en un proceso de diseño: con la ayuda de un computador — que utilizó para realizar una serie de simulaciones— ganó el concurso para el diseño del Estadio Olímpico de Múnich (Phocas & Matheou, 2024).

En 1980 —junto con el auge de los sistemas expertos— el interés por la IA resurgió. Esta subcategoría de la IA contaba con tres componentes: i) una base de datos elaborada por expertos en un campo del saber particular; ii) un algoritmo — conjunto de instrucciones o reglas definidas y no-ambiguas, ordenadas y finitas que permite, típicamente, solucionar un problema, realizar un cómputo, procesar datos y llevar a cabo otras tareas o actividades (Gómez Plata, 2020, p. 12)— que accedía a la base de datos para tomar decisiones; y iii) una interfaz que permitía interactuar a los usuarios con el sistema experto. En el campo de la arquitectura fueron de poca utilidad, puesto que las decisiones de diseño dependen de las condiciones del contexto, y esto no se puede extraer de los conocimientos previos de un grupo de expertos. Por tanto, su aplicación se limitó al diagnóstico de patologías de la construcción y a verificaciones de conformidad por parte de los usuarios. Sin embargo, algunos desarrollos tecnológicos generados por los sistemas expertos en el campo de la arquitectura, contribuyeron en parte con el desarrollo de los programas de diseño asistido por computador CAD (Computer-Aided Design) que actualmente continúan en uso (Brunetti, 2023; Russell & Norvig, 2022). La fragilidad de los sistemas expertos —evidente en el campo de la arquitectura—, en pocos años se manifestó en otras áreas. En consecuencia, hacia 1986 entraron en declive, mientras

que las redes neuronales, ahora más complejas, empezaron a florecer. De repente, su uso en aplicaciones prácticas y valiosas como el reconocimiento de patrones y errores o la clasificación de grandes volúmenes de datos, se hizo palpable. Paralelamente, los lenguajes de programación y la tecnología del hardware evolucionaron, lo que contribuyó de manera significativa al desarrollo de la IA. En lo concerniente al hardware, por ejemplo, se pasó de switches en la primera generación de redes neuronales a circuitos integrados en la quinta (Averkin & Yarushev, 2003; Russell & Norvig, 2022).

Otras mejoras alcanzadas a mediados de la década de 1980, fueron: i) el cambio de paradigma en lo concerniente al aprendizaje de las IAs, pasando de codificarlas manualmente al Machine learning, es decir, que empezaran a aprender por sí mismas; ii) el cambio de enfoque en cuanto a las decisiones tomadas por las IAs, dando mayor peso a las probabilidades que a la lógica binaria (falso o verdadero) que hasta ese momento predominaba; y iii) la reintegración de áreas de las IAs que de alguna manera se habían disgregado, como la visión digital, el reconocimiento del lenguaje, el procesamiento del lenguaje natural y la robótica (Russell & Norvig, 2022).

En 1992 el arquitecto norteamericano Frank Gehry recurrió a CATIA, programa CAD muy avanzado para su época, pues fue concebido para el diseño de aviones de combate. Con CATIA Gehry creó un modelo digital en 3D del Museo Guggenheim de Bilbao, y dio forma a cada una de las piezas de titanio que recubren el edificio, permitiendo que, durante la construcción, encajaran a la perfección miles de piezas diferentes (Hegazy & Saleh, 2023). De otra parte, cabe señalar que a finales del siglo pasado la IA empezó a ser reconocida: en 1997 el programa Deep Blue venció en una partida de ajedrez al campeón del mundo Gary Kasparov (Haenlein & Kaplan, 2019).

A caballo entre los siglos XX y XXI surgieron los programas BIM (Building Information Modeling), se popularizaron a finales de la década de 2010 y aún se usan. Se diferencian porque el modelado digital en CAD se hace en 2D, y se enfoca en la geometría y en el diseño del proyecto; mientras que el modelado digital en BIM se realiza en 3D, y enfatiza el almacenamiento y la distribución de información concerniente a materiales, procesos constructivos y ciclo de vida de la edificación (García Torija, 2021; Latiffi et al., 2014; Sacks et al., 2020). BIM posee, además, algunas características que lo hacen más flexible, dinámico y avanzado que CAD. Por un lado: el modelado se realiza a

partir de parámetros, de manera que el diseñador puede realizar cambios y modificaciones sin la necesidad de reconstruir todo el proceso; y por otra parte: BIM no es solo una herramienta de modelado digital, ya que permite tanto el trabajo colaborativo entre los profesionales vinculados al proyecto —compartiendo los cambios y ajustes en tiempo real— como la realización de desarrollos muy significativos en lo concerniente a la eficiencia energética y al proceso constructivo de la edificación (Araújo, 2024; Caragnani & Mingucci, 2011). Cabe señalar que ni CAD ni BIM poseen importantes trazas o elementos de IA, en consecuencia, no pueden generar soluciones de diseño de manera autónoma. Por otra parte, en el presente siglo tres fenómenos facilitaron el robustecimiento de la IA: el desarrollo de computadoras cada vez más poderosas; la creación de la Internet a nivel global; y, por efecto de los dos anteriores, la creación de enormes conjuntos de datos conocidos como big data, que permiten a la IA proceder con mayor eficiencia y eficacia. En 2011 surgió el Deep learning —subcategoría del Machine learning—, enfoque basado en las redes neuronales que catapultó la IA, sus alcances y sus aplicaciones (Russell & Norvig, 2022).

Actualmente la IA abarca una amplia e intrincada gama de componentes, clases y categorías (figura 1), y ha permeado importantes espacios de la vida cotidiana.

En los terrenos de la arquitectura la IA ha dado un vuelco a los procesos creativos tradicionales. Asistimos a la simbiosis hombre-máquina que Negroponte vislumbró 50 años atrás. Gracias al diseño computacional los humanos controlan la parte inicial del proceso de diseño: al establecer los parámetros y las restricciones que definirán el comportamiento de los algoritmos; mientras que la IA se encarga de la parte final: al generar las soluciones de diseño arquitectónico, urbano o de interiores por medio de los algoritmos (Porqueddu, 2024). “Este enfoque se basa en gran medida en la creación y manipulación de algoritmos para generar geometrías basadas en reglas predefinidas y relaciones entre elementos” (Li, 2024, p. 244). Cabe subrayar que los humanos supervisan los diseños y seleccionan, modifican o redireccionan el proceso a través de innumerables iteraciones hasta obtener un resultado totalmente satisfactorio.

El cambio en el proceso de diseño surgió por el uso de nuevas herramientas —los computadores y la IA—, y es tan reciente que aún no ha sido definido plenamente. No existe consenso ni siquiera respecto a su nombre. Algunos autores lo llaman “diseño digital” (Pedersen, 2020; Xiang et al., 2020), otros “arquitectura digital” (Araújo, 2024, Marcos et al., 2024) o “arquitectura paramétrica” (Al-Azzawi & Al-Majidi, 2020; Conde Sacasas, 2024), mientras hay quienes plantean que se trata de un nuevo lenguaje arquitectónico: el “Parametricismo”, y celebran que al fin haya surgido otro

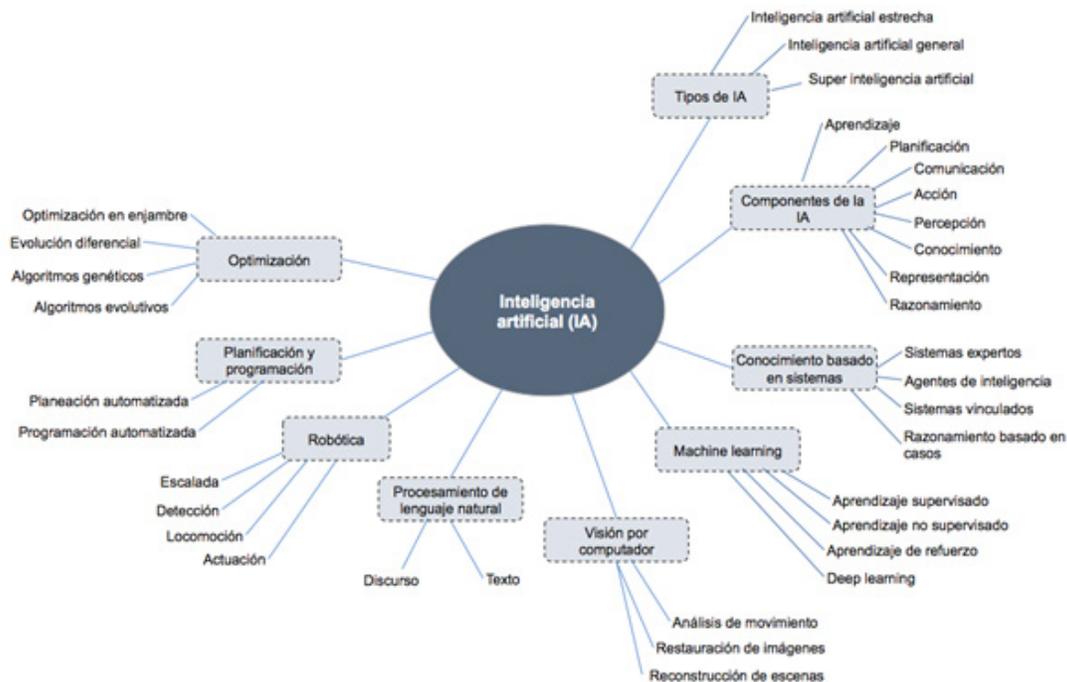


Figura 1. Componentes, tipos y subcategorías de la IA. Fuente: elaboración propia a partir de U.S. Department of Education, 2023.

gran estilo después del Movimiento Moderno (Schumacher, 2009). A este respecto conviene subrayar que no toda la arquitectura generada por la IA es “parametricista”, porque también se generan edificaciones que mantienen las formas cuadrangulares tradicionales, y además, algunos de los principios formales del Movimiento Moderno, como por ejemplo, los proyectos del estudio MRVDV desarrollados con ayuda de la IA, que se abstienen de recurrir a la exaltación de la plasticidad, la complejidad, el dinamismo y la fluidez formal que exhiben muchos de los proyectos de destacados arquitectos que se asocian con el llamado parametricismo, como Zaha Hadid, Rem Koolhaas o Daniel Libeskind, por solo mencionar unos cuantos (Hegazy & Saleh, 2023; Porqueddu, 2024).

### Metodología

La investigación contó con cuatro momentos: i) elaboración del modelo de procedimiento, establecimiento de la ventana de tiempo, selección de los conceptos a estudiar e instrumento de análisis: se eligió como modelo de procedimiento la revisión sistemática de artículos científicos, libros, tesis y publicaciones periódicas y no periódicas; se fijó una ventana de tiempo que inicia con los trabajos de Alan Turing en 1942 —puesto que existe consenso respecto a que son los primeros pasos en la búsqueda y el desarrollo de la IA—, que se extiende hasta 2025; se determinaron dos conceptos de interés para la investigación: los orígenes y la evolución de la IA haciendo énfasis en su aplicación en la arquitectura, y las transformaciones generadas por la IA en lo concerniente a los límites y los alcances de la creatividad en arquitectura, especialmente en el ámbito académico; y se dispuso el análisis comparativo como instrumento de análisis; ii) obtención de conocimiento sobre el objeto de estudio: se realizó una sistemática revisión bibliográfica a nivel global enfocada en dos componentes: el primero, conformado por documentos teóricos y conceptuales relacionados con la IA y con los procesos creativos y educativos propios del campo de la arquitectura, y el segundo, enfocado en la identificación de documentos que enlazaran, compararan, contrastaran o interrelacionaran dichos conceptos; iii) se llevó a cabo el análisis de la información y la interpretación de los resultados; y iv) se adelantaron una serie de trabajos en el aula con la participación de estudiantes de pregrado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Antonio Nariño de Bogotá. La metodología correspondiente se describe a continuación.

### Metodología del trabajo en el aula

Además de la exhaustiva revisión teórica y documental presentada en el artículo, este proyecto de investigación

ha buscado examinar la integración de herramientas de IA en la formación en arquitectura desde una perspectiva metodológica que, a la luz de lo expuesto, trascienda las fronteras disciplinarias. Así, a lo largo de dieciséis sesiones semanales, se impulsa una indagación colectiva sobre cómo los estudiantes de pregrado de arquitectura interactúan con la IA, desde un Seminario estructurado no sólo para observar sus patrones de uso, sino también para explorar las implicaciones de dicho uso.

Para investigar este fenómeno de manera rigurosa, se ha implementado un conjunto de herramientas metodológicas inspiradas en disciplinas como la psicología, la educación y las ciencias cognitivas, con el propósito de medir con mayor precisión las características del trabajo de los estudiantes, en particular en términos de originalidad, elaboración y variación semántica. La incorporación de métricas a la pedagogía arquitectónica —un área tradicionalmente regida por el juicio subjetivo y la interpretación abierta— ha demostrado ser a la vez desafiante y reveladora (Tabla 1).

Al aplicar metodologías derivadas de campos acostumbrados a medir las capacidades humanas intangibles, como la psicología y la investigación en creatividad, el estudio se sitúa en una intersección que invita a un mayor debate sobre el lugar de la evaluación basada en la evidencia en disciplinas históricamente reticentes a adoptar métricas. Las 14 sesiones celebradas hasta el momento han sido fundamentales para sentar las bases de dicho debate, poniendo a prueba la viabilidad de estas herramientas interdisciplinarias en contextos educativos reales.

La decisión de hacerlo en el contexto de un seminario específico se debe a los desafíos estructurales y pedagógicos que enfrenta actualmente la educación en arquitectura, pues en la medida en que los grupos continúan creciendo para hacer viable económicamente su oferta, los profesores tienen cada vez más dificultades para ofrecer atención individualizada, en particular en la evaluación de los procesos creativos, los cuales requieren un análisis matizado que por lo general ocupa mucho tiempo (Sawyer, 2012; Shneiderman, 2007). Esta dificultad se ve agravada por la adopción generalizada de plataformas digitales como Microsoft Teams, Google Meet y Zoom que, si bien son útiles para mantener la continuidad de la instrucción, limitan la profundidad de la interacción interpersonal y la retroalimentación espontánea, esenciales en las disciplinas creativas (Rapanta et al., 2020). En ese sentido, la estructura del seminario permite la observación controlada de las interacciones de los estudiantes con

Sesión	Tema	Método 1	Método 2
1	Diagnóstico		
2	Solución de Problemas	Design Thinking	
3	Exploración, Divergencia, Reflexión	Creative Exploration Inventory	Alternative Uses Test
4	Originalidad	Consensual Assessment Technique	Torrance Tests of Creative Thinking
5	Disposición para Experimentar	Openness to Experience Scale	Creative Behavior Inventory
6	Análisis de Conceptos	Four-Stage Model	
7	Arquitectura + Arte	Honing Theory	Four-P Model
8	Arquitectura + Literatura	Five-Phase Model	Four-C Model
9	Arquitectura + Cine y Video	5A Model of Creativity	Systems Model of Creativity
10	Arquitectura + Diseño Industrial	Explicit-Implicit Interaction	Everyday Imaginative Thought
11	Arquitectura + Música	Investment Theory of Creativity	Dialectical Theory of Creativity
12	Arquitectura + Gastronomía	Latent Inhibition and Reduced Filtering Hypothesis	Neuroeconomic Framework
13	Arquitectura + Diseño Gráfico	Dual Process Theory	Zone of Proximal Development
14	Arquitectura + Diseño de Modas	Gestalt Theory	Serendipity Theory
15	Arquitectura + Danza y Teatro	Variación ciega y retención selectiva	Efecto 'Wow' de Schmidhuber
16	Arquitectura + Patrimonio	Behaviorism Theory	Dual Pathway to Creativity Model

Tabla 1. Temas y métodos usados. Fuente: Elaboración propia.

herramientas de IA, ofreciendo un entorno escalable para probar metodologías destinadas a apoyar la evaluación de la creatividad mediante sistemas híbridos (humano-máquina). Esta elección se alinea con los llamados en la literatura a repensar las prácticas educativas a la luz de la transformación digital y a desarrollar nuevas estrategias para la participación significativa de los estudiantes en aulas tecnológicamente grandes y mediadas (Laurillard, 2013; Redecker et al., 2011).

Por otro lado, la adopción de metodologías de aula invertida ha cobrado relevancia en los últimos años como respuesta pedagógica a la dinámica cambiante del acceso al conocimiento y a las expectativas del alumnado. En una era donde los estudiantes tienen un acceso sin precedentes a una gran cantidad de información a través de herramientas

y plataformas digitales, los modelos tradicionales basados en clases magistrales se consideran cada vez más obsoletos e insuficientes (Bishop & Verleger, 2013; Lage et al., 2000). La relevancia del profesor como transmisor de conocimientos se pone en tela de juicio, sobre todo cuando ningún instructor puede competir con la variedad de recursos en línea, ni adaptarse plenamente a las diversas curvas de aprendizaje y necesidades individuales de cada alumno en un aula numerosa (Lo & Hew, 2017). El aula invertida aborda esta tensión reasignando el tiempo de instrucción, dejando la impartición de contenidos tradicionalmente responsabilidad del docente para realizarse de manera independiente antes de la clase, lo que permite que las sesiones presenciales o sincrónicas se centren en actividades alineadas con resultados de aprendizaje específicos para desarrollar en

el marco del debate y la discusión dirigida (O'Flaherty y Phillips, 2015). Esta estructura no sólo maximiza el valor de la interacción profesor-alumno, sino que también ofrece una estrategia práctica para priorizar la profundidad sobre la amplitud, garantizando un aprendizaje dirigido a desarrollar habilidades intelectuales y destrezas prácticas particulares, en lugar de conocimiento de tipo enciclopédico. Por esta razón, el aula invertida se presenta como un modelo muy adecuado a las realidades de la educación contemporánea, priorizando la autonomía del estudiante, el aprendizaje activo y el uso eficiente del tiempo de instrucción (Talbert, 2017).

Con esto en mente, se opta por usar la técnica de grupo focal para observar de manera situada y dinámica las formas emergentes de interacción entre procesos creativos y tecnologías basadas en IA. Esto debido a que el uso de grupos focales ha sido ampliamente recomendado en la investigación sobre creatividad, ya que permite capturar la diversidad de perspectivas, la construcción colectiva del conocimiento y las tensiones que surgen en procesos creativos colaborativos (Barbour, 2007; Sawyer, 2012). En particular, Sternberg (1999) y Amabile (1996) reconocen el valor de observar entornos naturales de trabajo creativo para comprender mejor cómo emergen ideas originales en contextos reales. Además, los grupos focales como técnica cualitativa se caracterizan por reunir a un número reducido de participantes —en este caso 51 estudiantes— que discuten en profundidad un tema específico bajo la guía de un profesor, que la mayoría de las veces actúa más como moderador. Este enfoque permite explorar no sólo las opiniones individuales, sino también las dinámicas sociales, las influencias culturales y los mecanismos de validación colectiva de la creatividad (Krueger & Casey, 2015). En ese orden de ideas, se decide para cada sesión una estructura compuesta por:

**Una actividad individual antes de la clase — ac1—**, en la cual se asignan lecturas, videos y se proponen ejercicios de diseño arquitectónico, aplicando métodos de evaluación de creatividad para que los estudiantes se familiaricen con los conceptos antes del encuentro sincrónico. Estas actividades buscan activar conocimientos previos, facilitar la comprensión de contenidos complejos y permitir que cada estudiante avance a su propio ritmo, respetando su curva de aprendizaje (Lo & Hew, 2017; O'Flaherty & Phillips, 2015; Talbert, 2017).

**Una actividad grupal durante la clase —dc1—**,

orientada a resolver un reto de diseño, debatir un caso de estudio o construir colectivamente una propuesta a partir de insumos previos. Esta actividad fomenta la colaboración, la toma de decisiones compartidas y la integración de saberes, simulando entornos de trabajo profesional donde se valora el aporte del colectivo sobre soluciones concretas (Laurillard, 2013; Sawyer, 2012).

**Una actividad individual durante la clase de coevaluación al trabajo colectivo —dc2—**, para cultivar tanto el pensamiento crítico como otras competencias transversales. Si bien los proyectos grupales reflejan contextos reales de diseño y planificación, a menudo ocultan las contribuciones individuales y pueden reforzar la dependencia de compañeros más sólidos (De Hei et al., 2016). La coevaluación individual estructurada permite a cada estudiante evaluar la calidad del trabajo de su equipo y reflexionar críticamente sobre su propio rol y el de sus compañeros. Este proceso fomenta la conciencia metacognitiva, el juicio ético y la comunicación constructiva, componentes clave del pensamiento crítico (Brookfield, 2012; Nicol et al., 2014). Además, la coevaluación mejora competencias interpersonales como la colaboración, la adaptabilidad y la retroalimentación, que son cada vez más priorizadas por los empleadores en las disciplinas creativas y técnicas (Andrews & Higson, 2008; Jackson & Chapman, 2012).

**Una actividad individual posterior a la clase — pc1—**, que consolida el aprendizaje mediante entregas cortas en distintos formatos (textuales, visuales, audiovisuales), vinculadas a los resultados de aprendizaje definidos para la sesión. Estas actividades permiten que cada estudiante sintetice, reflexione o aplique lo aprendido, y constituyen una fuente valiosa de insumos cualitativos para la evaluación automatizada y el seguimiento continuo del proceso de formación.

## Resultados

A lo largo de la historia, la comprensión de la creatividad ha pasado de la inspiración divina a una habilidad centrada en el ser humano y, luego, a un concepto que abarca dimensiones colaborativas y culturales. Sin embargo, con el advenimiento de la IA, estamos ante un cambio tanto o más paradigmático por la integración de algoritmos y aprendizaje automático para generar resultados que tradicionalmente se consideraban dominio de la creatividad humana, en el arte, la literatura, la música, el diseño y la arquitectura (Boden, 2016), desafiando las concepciones tradicionales de creatividad al redefinir las

nociones de autoría y originalidad, así como el papel humano en los procesos creativos en cuanto a intención, colaboración y posibilidad (Colton, 2008). Esto emerge como un asunto de vital importancia para los profesionales en ejercicio, pero más aún para aquellos en procesos formativos (Anderson & Rainie, 2018), pues nacen o crecen usando los nuevos recursos, pero se enfrentan a instituciones y gremios que, en la mayoría de los casos, apenas se están poniendo al día en cómo asimilar las innovaciones (Gerber et al., 2011).

La aparición de la IA abre muchas posibilidades, pero también plantea debates complejos que convulsionan las nociones pedagógicas y conceptuales tradicionales (Mitchell, 2019a), que en el caso de la formación profesional en arquitectura son, entre otras, la valoración y legitimación de la exploración, el reconocimiento de la colaboración entre hombres y máquinas, la superación de constricciones proyectuales para generar nuevas formas e innovaciones materiales, la sensibilización con contextos específicos, y la actualización del currículo en función de los avances tecnológicos.

#### **Valoración de la exploración**

La IA puede ser una poderosa herramienta para generar ideas iniciales o explorar alternativas de diseño. Los algoritmos que producen innumerables variaciones basadas en parámetros pueden dar lugar a nuevos conceptos que los estudiantes podrían no haber considerado (Negnevitsky, 2005). Este aumento puede ampliar los límites de la creatividad introduciendo formas, materiales o ideas estructurales inesperadas, lo que permite abordar problemas conocidos con nuevas perspectivas, todo en tiempo real, fomentando un proceso que valora la exploración frente a la adhesión rígida a un único concepto desde el principio (Schwab, 2016).

#### **Colaboración hombre-máquina**

A medida que las herramientas de IA se vuelven más sofisticadas, la educación en arquitectura podría verse cada vez más como un proceso de colaboración entre diseñadores humanos y sistemas de IA (Thagard, 2019). El estudiante puede aportar la visión, la intención o los parámetros, mientras que la IA explora soluciones y genera una serie de resultados que el diseñador humano debe seleccionar y desarrollar. En otras palabras, en lugar de empezar cada diseño desde cero, los alumnos podrían desempeñar un papel más de curadores, seleccionando y refinando las opciones generadas por la IA (Dennett, 2017). Esto redefine la creatividad desde el «hacer» a «elegir» y «adaptar», haciendo hincapié en la experiencia humana en la toma de decisiones y la interpretación contextual (Kulcke, 2018).

#### **Generación de nuevas formas e innovaciones materiales**

La capacidad de la IA para analizar vastos conjuntos de datos sobre propiedades de los materiales, datos medioambientales y precedentes estructurales permite soluciones creativas que optimizan el rendimiento sin sacrificar la calidad estética (Başarıır & Erol, 2021). Hoy por hoy los estudiantes utilizan la IA para explorar formas complejas que tradicionalmente son difíciles de calcular o modelar —formas orgánicas que se encuentran en la naturaleza para inspirar una arquitectura biomimética, por ejemplo— abriendo posibilidades para estructuras innovadoras que amplían los límites estéticos y la expresión de los edificios.

#### **Sensibilización con contextos específicos**

La IA suele funcionar dentro de una serie de restricciones predefinidas —por ejemplo, objetivos medioambientales, límites presupuestarios, y requisitos funcionales—, lo que puede potenciar la creatividad al obligar a los estudiantes a pensar de forma innovadora dentro de esos límites (García Martínez, 2020). Esta creatividad basada en las restricciones podría dar lugar a una arquitectura más eficiente y consciente del contexto, además de fomentar una forma más sostenible de creatividad que respete y responda a las características únicas de cada lugar (Floridi, 2013), en la medida en que la IA mejore su capacidad para analizar datos locales: clima, contexto histórico, infraestructura urbana, etc.

#### **Redefinición de lo ordinario**

La IA también puede animar a los estudiantes a replantearse de forma creativa los espacios o infraestructuras «ordinarios» (Latour, 2005), en contravía de las tendencias globalizadoras que, guiadas por tendencias de moda o mercado, terminan imponiéndose en cualquier lugar del mundo a lo mejor únicamente por su atractivo visual y comercial (Susskind & Susskind, 2018). Mediante el análisis de datos sobre pautas de uso, clima o flujo de tráfico, la IA puede sugerir mejoras en espacios comunes como viviendas públicas, escuelas o transporte urbano (Silver et al., 2016). Esto redefine la creatividad no como arquitectura llamativa y monumental, sino como diseño reflexivo e impactante que mejora la vida cotidiana.

#### **Actualización del currículo**

El uso creativo de la IA por parte de los estudiantes requerirá el desarrollo y la valoración de nuevas competencias o resultados de aprendizaje (Gerber et al., 2011). Más allá de las habilidades de diseño tradicionales, los alumnos pueden

necesitar entender codificación básica, ciencia de datos, o al menos la mecánica de las herramientas de diseño basadas en IA para utilizarlas con eficacia (LeCun et al., 2015).

No hay duda sobre las ventajas y beneficios que tiene ampliar la definición de creatividad en arquitectura en contextos académicos al ofrecer nuevas herramientas, perspectivas y procesos. Sin embargo, el advenimiento de una tecnología tan poderosa en el ámbito educativo no deja también de generar preocupaciones: por un lado, la capacidad de la IA para producir opciones de diseño entraña el riesgo de que los estudiantes dependan excesivamente de soluciones generadas por máquinas, lo que podría dar lugar a diseños homogeneizados o a una pérdida de voces arquitectónicas distintivas (Shneiderman, 2007). Lograr un equilibrio entre el aprovechamiento de la IA y la preservación de la autonomía creativa será esencial para mantener la diversidad en la expresión arquitectónica (McCormack & d'Inverno, 2012), pues, aunque la IA puede procesar datos y optimizar formas ad infinitum, los arquitectos humanos serán esenciales para garantizar que los diseños resuenen con las dimensiones culturales, sociales y emocionales (Mitchell, 2019b). Así, la formación en diseño puede hacer hincapié en los aspectos éticos y humanos de la arquitectura, reforzando la importancia de los valores y la intuición frente al avance tecnológico.

Por otro lado, está la posible disolución de la autoría y la propiedad (Valdezate Pelegrín, 2024), pues si una IA contribuye significativamente a una propuesta de diseño, ¿a quién le pertenece en términos creativos? ¿Debe considerarse cocreador del estudiante al programador de la IA o incluso a la propia IA? Estas cuestiones ponen en tela de juicio las nociones tradicionales de autoría y propiedad intelectual en arquitectura, y probablemente impulsarán el desarrollo de nuevos marcos para los derechos creativos (Braidotti, 2013).

Los académicos coinciden en que el reto consistirá en integrar la IA de forma reflexiva, aprovechándola para potenciar la creatividad humana en lugar de suplantarla (Colton, 2008). Los estudiantes pueden convertirse en responsables e intérpretes en colaboración con la IA, centrándose en las dimensiones culturales, sociales y estéticas del diseño que las máquinas por sí solas no pueden captar plenamente (Ford, 2018). A medida que la IA reconfigura el concepto de creatividad, es probable que los futuros arquitectos encuentren nuevas formas de definir su papel y su valor en el proceso de diseño, haciendo hincapié no sólo en

los conocimientos técnicos, sino también en los aspectos exclusivamente humanos de la innovación, la empatía y el significado (Sapinn, 2024).

Desde una perspectiva pedagógica, dando por sentado que el uso de IA por parte de los estudiantes es inevitable e incluso fomentado por las instituciones de educación superior por lo ya señalado, es deber de los profesores arribar a metodologías de trabajo en aula o remoto que integren ambas fuentes de conocimiento. Por ejemplo:

En lugar de reducir la necesidad de colaboración entre pares, la IA podría enriquecerla añadiendo un nuevo nivel al proceso de diseño (Woo, 2011). Los estudiantes podrían utilizar la IA individualmente o en pequeños grupos para explorar una serie de posibilidades de diseño y, a continuación, reunirse para comparar, criticar y desarrollar el trabajo de los demás.

Los distintos equipos de diseño pueden utilizar la IA de formas únicas, en función de sus objetivos, parámetros o incluso de sus interpretaciones de los requisitos del proyecto (Nickerson, 1999). Esta variabilidad puede potenciar la creatividad al poner sobre la mesa múltiples perspectivas, cada una de ellas conformada por percepciones tanto humanas como de la máquina.

La colaboración de varios diseñadores humanos puede aportar puntos fuertes complementarios (Wrigley & Straker, 2017): por ejemplo, uno puede destacar en diseño conceptual, otro en viabilidad técnica y otro en sensibilidad al contexto. Cuando se asume que todos cuentan con un asistente de IA adaptado a su área de especialización, se pueden aportar ideas e iteraciones especializadas que un único equipo de diseñadores e IA podría pasar por alto.

Aunque varios diseñadores trabajen con la IA, son los humanos los que deciden qué ideas llevar a cabo (Amabile, 1996). Las posibilidades iterativas de un único equipo de diseñadores e IA son enormes, pero sin otros puntos de vista humanos, los resultados podrían inclinarse hacia soluciones de diseño predecibles o uniformes (Russ, 2014).

Para evitar perderse en iteraciones interminables, los equipos de diseño pueden establecer limitaciones prácticas desde el principio, centrándose en criterios clave como el presupuesto, el impacto medioambiental o la relevancia cultural (Hofstadter, 1995). Las iteraciones de la IA girarían entonces en torno a estos objetivos prioritarios, haciendo el

proceso más eficiente.

La IA puede generar rápidamente muchas iteraciones, pero eso no significa que todas sean igual de valiosas. Los diseñadores humanos tienen que usar el discernimiento para elegir un subconjunto manejable de diseños para una exploración detallada (Damasio, 1994). Los equipos de colaboración pueden desempeñar un papel crucial en la crítica y el filtrado de estas opciones en función de valores u objetivos compartidos.

Cuando diferentes equipos aportan sus soluciones únicas asistidas por IA a un proyecto, la revisión por pares puede estructurarse para garantizar que cada idea reciba una evaluación justa (Marques, 2021). En ese sentido, los estudiantes podrían utilizar críticas de diseño estructuradas, en las que cada equipo presente su concepto derivado de la IA, explique sus opciones de diseño y, a continuación, reciba comentarios específicos de sus compañeros.

En los proyectos de mayor envergadura, en los que intervienen varios equipos e ideas generadas por IA, es esencial tener una visión compartida o un conjunto de principios rectores (Maharika et al., 2020). Esta visión mantiene la atención en los elementos unificadores, garantizando que los diferentes equipos humano-máquina no trabajen con objetivos contrapuestos o produzcan ideas que carezcan de cohesión.

Con la IA existe la posibilidad de explorar la amplitud de las posibilidades de diseño antes de decantarse por direcciones específicas (Crowdy.ai., 2024). En las primeras fases del proceso, los equipos pueden revisar y criticar una amplia gama de resultados basados en la IA, observando diversos enfoques antes de converger en un conjunto refinado de ideas.

Múltiples equipos humano-máquina pueden combinar los aspectos más convincentes de cada enfoque, creando soluciones híbridas que integren una serie de ideas en lugar de elegir un concepto «ganador» (Farnós, 2025). Esto puede conducir a resultados más ricos e innovadores que si cada equipo trabajara de forma aislada.

En algunos casos, los equipos de diseño pueden utilizar técnicas estructuradas de creación de consenso, en las que cada equipo o diseñador vota sobre iteraciones específicas generadas por IA o proporciona comentarios sobre qué elementos deben priorizarse o combinarse (Veale

& Cardoso, 2019). Esto puede ayudar a mantener la diversidad mientras se avanza hacia un diseño final.

Los equipos también pueden adoptar roles en los que ciertos miembros actúen como «árbitros» de los resultados de la IA, integrando los comentarios y tomando decisiones estratégicas sobre la dirección de cada iteración (Universidad de Guadalajara, 2023). Esta función ayuda a equilibrar la creatividad de la diversidad impulsada por la IA con las limitaciones prácticas del mundo real y la visión colectiva del equipo de diseño.

En lugar de sustituir a la creatividad colaborativa, la IA puede potenciarla ofreciendo una herramienta nueva y dinámica que cada equipo o diseñador puede interpretar y utilizar de forma diferente. Con una gestión y una estructura bien pensadas, los diversos equipos humano-máquina pueden producir un amplio abanico de ideas que se beneficien de los comentarios de los compañeros y del juicio humano. Al establecer límites, definir objetivos comunes y dar prioridad a la crítica constructiva, los equipos de arquitectura pueden evitar que las iteraciones interminables paralicen el progreso y, en su lugar, utilizar la IA para impulsar un proceso de diseño colaborativo, innovador y completo.

### **Hallazgos preliminares del trabajo en el aula**

Hasta el momento se han realizado 14 sesiones, para un total de 54 actividades: 14 antes de la clase; 14 durante de la clase; 11 de coevaluación; y 15 posteriores a la clase. Se han usado 14 métodos de medición de creatividad con una participación promedio de 45 estudiantes por actividad, aunque se percibe un descenso significativo en las actividades posteriores a la clase (Figura 2).

En cuanto al uso de IA se observa hasta fecha que, lejos de ser una herramienta marginal o complementaria, se ha convertido en un componente esencial de los procesos de aprendizaje de los estudiantes, utilizándose para generar ideas, sintetizar contenido, visualizar narrativas de diseño y optimizar la producción académica. En los ejercicios de diseño específicamente, aunque siempre se proveyó la opción de llevarlos a cabo a través de recursos análogos (dibujos y modelos físicos), digitales (software específico y/o apps), o IA, las consultas a ésta última siempre se registran entre el 90 y 100% de las veces, incluso cuando se trata de emitir opiniones “personales” sobre su propio trabajo o el de sus compañeros. Como se hizo evidente en las conversaciones informales al terminar las sesiones, los estudiantes confiesan preguntar a IA casi todo lo concerniente a sus vidas, bien sea lo relacionado



## Referencias

- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in Context: Update to "The Social Psychology of Creativity"*. Westview Press.
- Anderson, J. & Rainie, L. (2018). *Artificial Intelligence and the Future of Humans*. Pew Research Center.
- Andrews, J. & Higson, H. (2008). Graduate employability, 'soft skills' versus 'hard' business knowledge: A European study. *Higher Education in Europe*, 33(4), 411–422. <https://doi.org/10.1080/03797720802522627>
- Araújo, L. (2024). *Arquitetura Digital: Aplicação de Design Generativo na arquitetura* [Tesis de pregrado]. Universidade Estadual do Maranhão.
- Averkin, A. & Yarushev, S. (2003). *Evolution of Artificial Neural Networks*. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems OSTIS*, Minsk, February 15-17, 2018, pp.255-258. <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/30338>
- Al-Azzawi, T. & Al-Majidi, Z. (2020). *Parametric architecture: the second international style*. Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Sciences ICES, Karbala, Irak, dec 5-6. 10.1088/1757-899X/1067/1/012019
- Barbour, R. (2007). *Doing focus groups*. Sage.
- Başarır, L. & Erol, K. (2021). *Briefing AI: From architectural design brief texts to architectural design sketches*. The 9th ASCAAD International Conference, 23-31.
- Bishop, J. L. & Verleger, M. A. (2013). *The flipped classroom: A survey of the research*. ASEE National Conference Proceedings, Atlanta, GA, 30(9), 1-18. <https://www.asee.org/public/conferences/20/papers/6219/view>
- Boden, M. A. (2004). *The Creative Mind: Myths and Mechanisms* (2ª ed.). Routledge.
- Boden, M. A. (2016). *AI: Its Nature and Future*. Oxford University Press.
- Braidotti, R. (2013). *The Posthuman*. Polity Press.
- Brookfield, S. D. (2012). *Teaching for critical thinking: Tools and techniques to help students question their assumptions*. Jossey-Bass.
- Brunetti, G. L. (2023). Evolutionary trends in the use of artificial intelligence in support of architectural design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (25), 55–60. <https://doi.org/10.36253/techne-13739>
- Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
- Caragnani, S. & Mingucci, R. (2011). Strumenti digitali per la modellazione d'architettura. Digital modeling for architectural knowledge. *Disegnarecon*, 4(7), 1-4. <https://disegnarecon.unibo.it/issue/view/256>
- Cardoso Llach, D. (2012). Esclavos perfectos: historia breve de la ciberarquitectura en MIT (1959-1967). *DEARQ* (10), 48-59. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630319007>
- Clark, A. & Chalmers, D. (1998). *The Extended Mind*. *Analysis*, 58(1), 7-19. <https://doi.org/10.1093/analys/58.1.7>
- Colton, S. (2008). Creativity Versus the Perception of Creativity in Computational Systems. Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Creative Intelligent Systems, 14-20. AAAI Press.
- Conde Sacasas, B. (2024). *Arquitectura\_Arquitectura Paramétrica\_IA : una evolución en curso [Tribuna Final de Grau]*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/411518>
- Crowdy.ai. (2024). *Inteligencia artificial en arquitectura*. Recuperado de <https://crowdy.ai/es/artificial-intelligence-in-architecture/>
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*. HarperCollins.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. G. P. Putnam's Sons.
- De Hei, M. S. A., Strijbos, J. W., Sjoer, E. & Admiraal, W. F. (2016). The effects of collaborative learning on critical thinking in higher education: A meta-analysis. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(4), 1–12. <https://www.jstor.org/stable/10.2307/10.2307/jeductechsoci.19.4.1>
- Dennett, D. C. (2017). *From Bacteria to Bach and Back: The Evolution of Minds*. W. W. Norton & Company.
- Farnós, J. D. (2025). *Proyectamos la vinculación de los modelos algorítmicos de IA con la reconfiguración de la investigación académica*. Wordpress. Recuperado de <https://juandomingofarnos.wordpress.com/2025/02/17/proyectamos-la-vinculacion-de-los-modelos-algoritmicos-de-ia-con-la-reconfiguracion-de-la-investigacion-academica/>
- Floridi, L. (2013). *The Philosophy of Information*. Oxford University Press.
- Ford, M. (2018). *Architects of Intelligence: The Truth About AI from the People Building It*. Packt Publishing.
- Gabora, L. (2010). Revenge of the 'Neurds': Characterizing Creative Thought in Terms of the Structure and Dynamics of Memory. *Creativity Research Journal*, 22(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/10400410903579494>
- García Martínez, A. (2020). *Artificial Intelligence: Ethics, Governance and Policy Challenges*. Springer.
- García Torija, A. I. (2021). *Diseño generativo. Algoritmos como método proyectual*. [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica de Madrid.

- Gerber, B. B., Gerber, D. J. & Ku, K. (2011). The pace of technological innovation in architecture, engineering, and construction education: Integrating recent trends into the curricula. *Journal of Information Technology in Construction*, 16, 411-432.
- Gómez Plata, S. (2020). *El lenguaje arquitectónico de la inteligencia artificial* [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454. <https://doi.org/10.1037/h0063487>
- Haenlein, M. & Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61(4): 1-10. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>
- Hegazy, M. & Saleh, A. M. (2023). Evolution of AI role in architectural design: between parametric exploration and machine hallucination. *Engineering journal*, 2(2), 1-26. 10.21608/MSAENG.2023.291873
- Hofstadter, D. R. (1995). *Fluid Concepts and Creative Analogies: Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought*. Basic Books.
- Jackson, D. & Chapman, E. (2012). Non-technical skill gaps in Australian business graduates. *Education + Training*, 54(2/3), 95-113. <https://doi.org/10.1108/00400911211210224>
- Krueger, R. A. & Casey, M. A. (2015). *Focus groups: A practical guide for applied research (5th ed.)*. Sage.
- Kulcke, M. (2018). Design-Bot: Using half-automated qualitative interviews as part of self-communication within the design process. *Proceedings of the 36th eCAADe Conference*, 1, 103-108.
- Lage, M. J., Platt, G. J. & Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43. <https://doi.org/10.1080/00220480009596759>
- Latiffi, A. A., Brahim, J. & Fathi, M. S. (2014). The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. *Applied Mechanics and Materials. Scientific Net*. 567, 625-630. 10.4028/www.scientific.net/AMM.567.625
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford University Press.
- Laurillard, D. (2013). *Rethinking university teaching: A conversational framework for the effective use of learning technologies (2nd ed.)*. Routledge.
- LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. (2015). Deep Learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Li, J. (2024). Transforming architecture: The synergy of digital fabrication and parametric design. *Applied and Computational Engineering*, 243-248. *Proceedings of the 2nd International Conference on Functional Materials and Civil Engineering*, august 23, Eskisehir, Turkey. 10.54254/2755-2721/66/20240968
- Lo, C. K. & Hew, K. F. (2017). A critical review of flipped classroom challenges in K-12 education: Possible solutions and recommendations for future research. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0044-2>
- Marcos, C. L., Fernández-Álvarez, A. J. & Pak, B. (2024). Architectural disruption in the age of computation: a critical review on digital architecture. *METU JFA*, 41(1), 147-172. 10.4305/METU.JFA.2024.1.8
- Marques, F. (2021). Inteligencia artificial en la revisión por pares. *Revista Pesquisa FAPESP* 299. Recuperado de <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/inteligencia-artificial-en-la-revision-por-pares/>
- Maharika, I., Irsan, A., Ismailiyah, S., Susanto, A., Abma, V. & Yuriandala, Y. (2020). Building Information Modelling (BIM) Adoption Model for Architectural Education. *Journal of Design and Built Environment*, 20, 22-42. <https://doi.org/10.22452/jdbe.vol20no3.2>
- Martindale, C. (1999). Biological Bases of Creativity. En R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 137-152). Cambridge University Press.
- McCormack, J. & d'Inverno, M. (Eds.). (2012). *Computers and Creativity*. Springer.
- McCulloch, W. S. & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133. <https://www.cs.cmu.edu/~epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf>
- Mitchell, M. (2019a). *Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans*. Farrar, Straus and Giroux.
- Mitchell, M. (2019b). Artificial Intelligence hits the barrier of meaning. *Information*, 10(2), 51. <https://doi.org/10.3390/info10020051>
- Negnevitsky, M. (2005). *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems (2ª ed.)*. Addison-Wesley.
- Negroponte, N. (1995). *Being Digital*. Knopf.
- Negroponte, N. (1970). *The architecture machine*. The MIT Press.
- Nickerson, R. S. (1999). Enhancing Creativity. En R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 392-430). Cambridge University Press.
- Nicol, D., Thomson, A. & Breslin, C. (2014). Rethinking feedback practices in higher education: A peer review perspective. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 39(1), 102-122. <https://doi.org/10.1080/02602938.2013.795518>

- O'Flaherty, J. & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education*, 25, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.002>
- Pedersen, C. (2020, abril). *The Parametric Process: A Strategic Analysis on Digital Design Technology in Landscape Architecture* [Master's Thesis]. The University of Guelph.
- Phocas, M. C. & Matheou, M. (2024). Transformability in adaptive structures of Frei Otto and beyond. *VLC arquitectura*, 11(2), 237-249. <https://doi.org/10.4995/vlc.2024.21914>
- Porqueddu, C. (2024). *L'Impatto dell'Intelligenza Artificiale nei Processi di Progettazione Architettonica: Analisi critica degli applicativi a supporto del progettista* [Tesi]. Politecnico di Torino.
- Rapanta, C., Botturi, L., Goodyear, P., Guàrdia, L. & Koole, M. (2020). Online university teaching during and after the Covid-19 crisis: Refocusing teacher presence and learning activity. *Postdigital Science and Education*, 2(3), 923–945. <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00155-y>
- Redecker, C., Punie, Y. & European Commission. (2011). The future of learning: Preparing for change. *Publications Office of the European Union*. <https://doi.org/10.2791/64117>
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386-408. <https://www.ling.upenn.edu/courses/cogs501/Rosenblatt1958.pdf>
- Runco, M. A. & Jaeger, G. J. (2012). The Standard Definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, 24(1), 92-96. <https://doi.org/10.1080/10400419.2012.650092>
- Russ, S. W. (2014). *Pretend Play in Childhood: Foundation of Adult Creativity*. American Psychological Association.
- Russell, S. & Norvig, P. (2022). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- Sacks, R., Girolami, M. & Brilakis, I. (2020). Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment*, (4), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>
- Sapinn. (2024). *La IA en la Arquitectura: Transformando el Diseño y la Construcción del Futuro*. Recuperado de <https://sapinn.com/la-ia-en-la-arquitectura-transformando-el-diseno-y-la-construccion-del-futuro/>
- Sawyer, R. K. (2012). *Explaining Creativity: The Science of Human Innovation* (2ª ed.). Oxford University Press.
- Schumacher, P. (2009). Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Architectural Design*, 79(4), 14-23. <https://doi.org/10.1002/ad.912>
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- Shneiderman, B. (2007). Creativity Support Tools: Accelerating Discovery and Innovation. *Communications of the ACM*, 50(12), 20-32. <https://doi.org/10.1145/1323688.1323689>
- Silver, D., et al. (2016). Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search. *Nature*, 529(7587), 484-489. <https://doi.org/10.1038/nature16961>
- Simonton, D. K. (1999). *Origins of Genius: Darwinian Perspectives on Creativity*. Oxford University Press.
- Sternberg, R. J. (Ed.). (1999). *Handbook of Creativity*. Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. I. (1999). The Concept of Creativity: Prospects and Paradigms. En R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 3-15). Cambridge University Press.
- Susskind, D. & Susskind, R. (2018). The future of the professions. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 162, 125-138.
- Talbert, R. (2017). *Flipped learning: A guide for higher education faculty*. Stylus Publishing.
- Thagard, P. (2019). *Brain-Mind: From Neurons to Consciousness and Creativity*. Oxford University Press.
- Universidad de Guadalajara. (2023). *Orientaciones y definiciones sobre el uso de la inteligencia artificial*. Recuperado de [https://www.udgvirtual.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/guia\\_ia\\_udg.pdf](https://www.udgvirtual.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/guia_ia_udg.pdf)
- U.S. Department of Education, Office of Education Technology. (2023). *Artificial Intelligence and Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations*. Department of Education.
- Valdezate Pelegrín, P. (2024). La autoría en creaciones generadas por Inteligencia Artificial. *Derecom: Derecho de la Comunicación y de las Nuevas Tecnologías*, 37, 19-32. <https://doi.org/10.5209/dere.98119>
- Veale, T. & Cardoso, A. (2019). *Creativity and Artificial Intelligence: A Conceptual Blending Approach*. Springer.
- Wrigley, C. & Straker, K. (2017). Design thinking pedagogy: The educational design ladder. *Innovations in Education and Teaching International*, 54(4), 374-385.
- Woo, J. H. (2011). BIM (Building Information Modeling): Transforming architectural education. *Journal of Information Technology in Construction*, 16, 411-432.
- Xiang, X., Yang, X. Chen, J, Tang, R. & Hu, L. (2020). A Comprehensive Model of Teaching Digital Design in Architecture that Incorporates Sustainability. *Sustainability*, 12(8368), 1-29. [10.3390/su12208368](https://doi.org/10.3390/su12208368)